



TESIS - EE185401

DETEKSI INSTRUMEN IDENTIK MENGGUNAKAN LEAST MEAN SQUARE

MAMBA'US SA'ADAH
07111650050001

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. Yoyon Kusnendar Suprpto, M.Sc.
Dr. Diah Puspito Wulandari, S.T., M.Sc.

PROGRAM MAGISTER

BIDANG KEAHLIAN JARINGAN CERDAS MULTIMEDIA

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2019



TESIS - TE185401

DETEKSI INSTRUMEN IDENTIK MENGGUNAKAN LEAST MEAN SQUARE

MAMBA'US SA'ADAH
07111650050001

DOSEN PEMBIMBING
Prof.Dr. Ir. Yoyon Kusnendar Suprpto, M.Sc.
Dr. Diah Puspito Wulandari, S.T., M.Sc.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN JARINGAN CERDAS MULTIMEDIA
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019

LEMBAR PENGESAHAN
LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T)

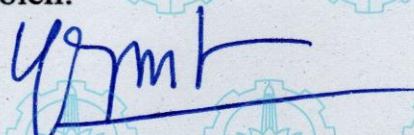
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

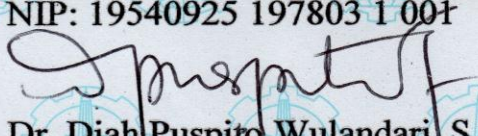
oleh:

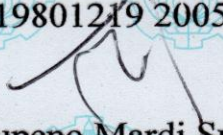
Mamba'us Sa'adah
NRP. 07111650050001

Tanggal Ujian : 21 Desember 2018
Periode Wisuda : Maret 2019

Disetujui oleh:


1. Prof. Dr. Ir. Yoyon Kusnendar Suprpto, M.Sc. (Pembimbing I)
NIP: 19540925 197803 1 001


2. Dr. Diah Puspito Wulandari, S.T., M.Sc. (Pembimbing II)
NIP: 19801219 200501 2 001


3. Dr. Supeno Mardi Susika Nugroho, S.T., M.T. (Penguji)
NIP: 19700313 199512 1 001


4. Reza Fuad Rachmadi, S.T., M.T., Ph.D. (Penguji)
NIP: 19850403 201212 1 001



Dekan Fakultas Teknologi Elektro

Dr. Tri Arief Sardjono, S.T., M.T.
NIP. 19700212 199512 1 001

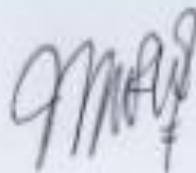
Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tesis saya dengan judul **"DETEKSI INSTRUMEN IDENTIK MENGGUNAKAN LEAST MEAN SQUARE"** adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 11 Januari 2019



Mamba'us Sa'adah

NRP. 07111650050001

Halaman ini sengaja dikosongkan

DETEKSI INSTRUMEN IDENTIK MENGGUNAKAN LEAST MEAN SQUARE

Nama mahasiswa : Mamba'us Sa'adah
NRP : 07111650050001
Pembimbing : 1. Prof. Dr. Ir. Yoyon Kusnendar Suprpto, M. Sc
2. Dr. Diah Puspito Wulandari, ST., M.Sc

ABSTRAK

Gamelan adalah salah satu alat musik tradisional Indonesia. Gamelan memiliki variasi dalam hal frekuensi dasar, amplitudo, dan sinyal envelope, karena konstruksi buatan tangan dan gaya bermainnya. Saat memainkan instrumen gamelan, banyak instrumen identik dimainkan secara bersamaan. Di dalam instrumen gamelan sering dijumpai instrumen yang identik seperti saron lebih dari satu. Dalam riset ini, akan dideteksi jumlah instrumen identik yang dimainkan secara bersamaan. Riset ini dapat menghitung berapa banyak instrumen identik yang dimainkan pada saat yang bersamaan. Kami menerapkan filter adaptif *Least Mean Square* (LMS) untuk mendeteksi instrumen yang identik. Instrumen identik dapat terdeteksi pada 0,03 ms.

Kata kunci: Adaptive LMS, Fitur Gamelan, Instrumen Identik.

Halaman ini sengaja dikosongkan

IDENTICAL INSTRUMENT DETECTION USING LEAST MEAN SQUARE

By : Mamba'us Sa'adah
Student Identity Number: 07111650050001
Supervisor(s) : 1. Prof. Dr. Ir. Yoyon K. Suprpto, M. Sc
2. Dr. Diah Puspito Wulandari, ST., M.Sc

ABSTRACT

Gamelan is one of Indonesia's traditional musical instruments. Gamelan has variations in basic frequency, amplitude, and envelope signals, due to handmade construction and playing style. When playing gamelan instruments, many identical music is played simultaneously. The gamelan instruments are often reached by instruments that are identical to more than one saron. In this research, the number of identic instruments played simultaneously will be detected. This research can calculate how many identical instruments are played at the same time. We applied an adaptive Least Mean Square (LMS) filter to detect identical instruments. Identical instruments can be detected at 0.03 ms.

Key words: Adaptive LMS, Gamelan feature, Identical Instrument.

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah dipanjatkan kepada Allah SWT, berkat rahmat dan karunia-Nya tesis ini dapat diselesaikan. Penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang tak terhingga kepada semua pihak, yang telah membantu dalam menyelesaikan tesis ini. Secara khusus penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang tulus kepada :

1. Prof. Dr. Ir. Yoyon Kusnendar Suprpto, M.Sc dan Dr. Diah Puspito Wulandari, ST., M.Sc selaku dosen pembimbing yang telah mengarahkan, memberi koreksi, dan motivasi dalam tesis ini.
2. Dr. Eko Mulyanto Yuniarno, S.T., M.T, selaku koordinator bidang keahlian Jaringan Cerdas Multimedia Program Studi Teknik Elektro.
3. Bapak Dewan penguji selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan kritik dalam tesis ini.
4. Bapak-bapak dosen pengajar di Program Studi Teknik Elektro, bidang keahlian Jaringan Cerdas Multimedia.
5. Ayahanda, Ibunda, suami serta keluarga yang menjadi motivasi penulis untuk sukses dan selalu memberikan dukungan baik materi maupun non-materi, perhatian serta doa tanpa henti kepada penulis.
6. Terima Kasih Kepada Teman-Teman seangkatan JCM 2016, yang selalu mendoakan dan menyemangati penulis.
7. Semua pihak yang telah banyak membantu proses penyelesaian tesis ini.

Penulis menyadari bahwa penulisan tugas akhir ini masih banyak keterbatasan dan kekurangan. Untuk itu kritik serta saran yang sifatnya membangun sangat penulis harapkan. Akhirnya penulis ucapkan semoga tugas akhir ini dapat berguna bagi pembaca dan bagi penulis khususnya.

Surabaya, 11 Januari 2019

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR NOMENKLATUR	xix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat	4
1.6 Metodologi Penelitian	5
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA	7
2.1 Kajian Penelitian Terkait	7
2.2 Dasar Teori	8
2.2.1 Gamelan	8
2.2.2 Karakteristik Gamelan	11
2.2.3 Sinyal	15
2.2.4 Pengolahan Sinyal Digital	15
2.2.5 Sinyal Balungan	18
2.2.6 Sintetis Bunyi	19
2.2.7 <i>Fast Fourier Transform</i> (FFT)	22
2.2.8 Sinyal Instrumen Gamelan dalam Domain Frekuensi	23
2.2.9 Adaptif Filter	25
2.2.10 <i>Finite Impulse Response</i> (FIR)	28
2.2.11 <i>Least Mean Square</i> (LMS)	29
2.2.12 Pendeteksian Sinyal Kembar	31

2.2.13	<i>Mean Square Error (MSE)</i>	32
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		33
3.1	Perancangan Sistem.....	34
3.1.1	Sinyal Saron.....	34
3.1.2	Pendeteksian Sinyal Kembar	36
3.2	Pengujian Sistem	38
3.3	Evaluasi	40
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		41
4.1	Sinyal Masukan	41
4.2	Analisa Elemen Sinyal	41
4.3	Sinyal Sintetik	42
4.4	Pengaruh Parameter Filter Adaptif LMS.....	46
4.4.1	Pengaruh Step Size (μ)	46
4.4.2	Pengaruh Panjang Sinyal	47
4.4.3	Pengaruh Sinyal Referensi	49
4.4.4	Pengaruh Iterasi	51
4.5	Pendeteksian Sinyal Kembar Menggunakan Adaptif Filter LMS	52
4.6	Toleransi Frekuensi	54
4.7	Toleransi Jarak	55
BAB 5 PENUTUP		61
5.1	Kesimpulan.....	61
5.2	Penelitian Selanjutnya	61
DAFTAR PUSTAKA.....		63
LAMPIRAN		67
BIOGRAFI PENULIS		83

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Balungan, Demung, Saron, Peking. (Suprpto, 2009)	2
Gambar 2.1 Sebuah Permainan Gamelan (Lindsay, 1992)	9
Gambar 2.2 Gamelan di berbagai belahan dunia	10
Gambar 2.3 Kelompok Instrumen Gamelan (Wintarti, 2016)	11
Gambar 2.4 Bentuk bilah pada saron (A. Sethares, 2005)	14
Gambar 2.5 Kelompok Saron (A. Sethares, 2005).....	14
Gambar 2.6 Proses Pengolahan Sinyal Digital (Dessy, I: 2006).....	16
Gambar 2.7 Proses Sampling Sinyal	17
Gambar 2.8 Envelope Sinyal Balungan (Suprpto, Purnomo and Hariadi, 2009)19	
Gambar 2.9 Pulse dan Sinyal (Suprpto, Purnomo and Hariadi, 2009).....	19
Gambar 2.10 Transformasi Fourier	22
Gambar 2.11 Sinyal Saron dalam Domain Waktu dan Domain Frekuensi.....	24
Gambar 2.12 Sinyal Instrumen Manyar Sewu dalam Domain Waktu dan Domain Frekuensi	25
Gambar 2.13 Diagram Filter Adaptif (Bilcu, 2004).....	29
Gambar 2.14 Adaptive Linear Combiner	31
Gambar 3.1 Tahapan Penelitian	33
Gambar 3.2 Metodologi Penelitian	34
Gambar 3.3 Proses FFT	35
Gambar 3.4 Blok Diagram Proses Ekstraksi Notasi Musik Menggunakan LMS	36
Gambar 3.5 Proses Ekstraksi Notasi Musik	37
Gambar 3.6 Wiener Filter	38
Gambar 3.7 Hubungan Step Size dengan Error	39
Gambar 4.1 Sinyal Saron dan Hasil FFT-nya	42
Gambar 4.2 Pembangkitan Sinyal Saron 1 Sintetik	43
Gambar 4.3 Hasil FFT Sinyal Saron 1	43
Gambar 4.4 Sinyal Envelope Saron Asli dan Saron Sintetik	44
Gambar 4.5 Perbandingan Sinyal Envelope Saron Asli dan Saron Sintetik	44
Gambar 4.6 Sinyal Error	45

Gambar 4.7 Pengaruh Step Size dengan MSE	46
Gambar 4.8 Pengaruh Panjang Sinyal dengan MSE	48
Gambar 4.9 Sinyal Koefisien dengan Panjang Window 10000	48
Gambar 4.10 Sinyal Koefisien dengan Panjang Window 1000	49
Gambar 4.11 Pembangkitan Sinyal Sintetik.....	50
Gambar 4.12 Deteksi Instrumen Identik Menggunakan Sinyal Sinus Sintetik	50
Gambar 4.13 Hasil Pendeteksian Instrumen Identik Menggunakan Sinyal Saron	51
Gambar 4.14 Pengaruh Iterasi Terhadap Kinerja Sistem	51
Gambar 4.15 Representasi Hasil LMS	52
Gambar 4.16 Representasi Hasil LMS	53
Gambar 4.17 Deteksi Multiple Signal	53
Gambar 4.18 Grafik Toleransi Frekuensi	55
Gambar 4.19 Grafik Toleransi Jarak	58
Gambar 4.20 Hasil Deteksi Dua Instrumen Identik	59
Gambar 4.21 Instrumen Identik yang Tidak Terdeteksi Menggunakan Saron 1dengan Time Delay 0.02 ms dan Frekuensi Sinyal Referensi 592 Hz	59

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Frekuensi Dasar Nada Saron Slendro (Pradhana & Suprpto, 2013) ...	13
Tabel 4.1 Frekuensi Dasar Sinyal Saron	42
Tabel 4.2 Pengujian Pengaruh Panjang Sinyal 1000-5000	47
Tabel 4.3 Pengujian Pengaruh Panjang Sinyal 6000-10000	47
Tabel 4.4 Pengujian Instrumen Identik	56
Tabel 4.5 Pengujian Beberapa Instrumen Identik	57
Tabel 4.6 Pengujian Instrumen Identik dengan Sinyal Masukan Berbeda Frekuensi	57

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR NOMENKLATUR

- | | | | |
|---|---------------|---|--------------------------|
| 1 | k | : | jumlah sampel |
| 2 | x | : | Masukan referensi |
| 3 | Respon impuls | : | Set nilai-nilai baru x |
| 4 | d | : | Input yang diinginkan |
| 5 | W | : | Set koefisien filter |
| 6 | E | : | Error output |
| 7 | F | : | Menyaring |
| 8 | $*$ | : | Konvolusi |

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gamelan adalah seperangkat alat music tradisional yang merupakan salah satu budaya bangsa Indonesia. Musik yang dihasilkan dari perpaduan alat musik Gamelan seperti: gong, kenong, kempul, saron, bonang, kendang dan lain-lain mampu menghasilkan komposisi music yang sangat indah dan menawan. Gamelan juga dipakai sebagai perangsang bagi murid yang kesulitan berkomunikasi, karena resonansi yang dihasilkan Gamelan ternyata lebih besar dari music perkusi lainnya sehingga cocok untuk merangsang kepekaan terhadap bunyi.

Gamelan yang merupakan alat music tradisional yang diakui UNESCO sebagai warisan budaya sudah selayaknya untuk terus dilestarikan. Tidak hanya dengan memainkannya namun juga perlu dilakukan penelitian terhadap Gamelan. Penelitian tentang Gamelan kebanyakan dilakukan dari sisi seni atau musikalitasnya sedangkan penelitian Gamelan ditinjau dari segi teknologi masih jarang dilakukan (Perlman and Krumhansl, 1996). Penelitian tentang Gamelan yang telah dilakukan dari sisi seni dan musikalitasnya seperti dilakukan oleh May dkk (1962), Becker (1972), Roth (1986), Sumarsam (1988), dan lain sebagainya. Sedangkan penelitian Gamelan ditinjau dari sisi teknologi masih jarang dilakukan, namun akhir-akhir ini ada beberapa peneliti seperti (Suprpto et al., 2009), (Kuswanto et al., 2012), (Tjahyanto et al., 2012) atau (Wulandari et al., 2012) yang melakukan penelitian tentang Gamelan dari sisi teknologi perangkat lunak.

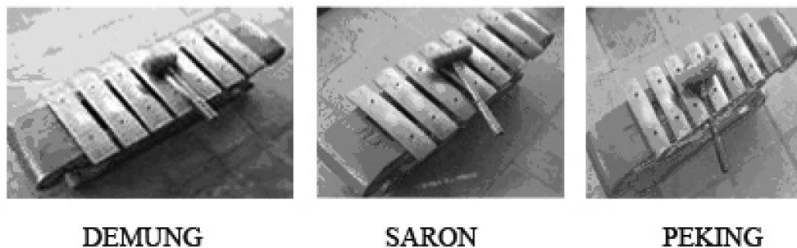
Gamelan terdiri dari beberapa instrument yang dimainkan secara bersamaan. Berbeda dengan permainan suatu orchestra yang dipimpin oleh dirigen (konduktor), pada permainan Gamelan tidak terdapat seorang konduktor, sebagai penggantinya adalah permainan salah satu instrument Gamelan yang mengarahkan permainan semua instrument Gamelan (Susilo, 2005).

Saat ini media digital dikembangkan dari instrumen musik paling canggih sampai yang tradisional. Ekstraksi pola ansambel musik menjadi sangat

penting karena informasi di dalam ansambel musikal dibutuhkan oleh layanan isi musik.

Pendekatan untuk membuat ruang pencarian audio yang dapat digunakan mencakup penggalan teks artikel musik untuk tag semantik, pemberian tag tangan, query-by-humming, dan analisis sinyal tingkat rendah dan skema klasifikasi genre. Baru-baru ini, para periset beralih menggunakan perhitungan manusia sebagai metode untuk mengambil informasi dari file audio.

Tiga instrumen yaitu Demung, Saron dan Peking membangun kelompok Balungan. Gambar 1.1 menunjukkan instrumen itu dengan palu sebagai alat pemukul. Palu ini dipekerjakan untuk memainkan instrumen ini dengan memukul pisau. Jenis gaya Gamelan bergantung pada berapa banyak instrumen identik yang dimainkan bersamaan seiring dengan kepadatan di antara mereka. Ini akan mengarah pada indikasi perubahan fitur Gamelan. Oleh karena itu, penandaan musik untuk Gamelan sangat penting untuk diterapkan dalam ansambel Gamelan.



Gambar 1.1 Balungan, Demung, Saron, Peking. (Suprpto, 2009)

Gamelan ansambel biasa dimainkan dengan pertunjukan wayang. Oleh karena itu, irama, tema dan gaya musik Gamelan bergantung pada kisah pertunjukan wayang. Misalnya, khalayak Gamelan ansambel dan pertunjukan wayang bisa mengikuti kisah pertunjukan wayang dengan memahami irama, tema dan corak musik Gamelan. Ini bisa dilakukan dengan memberi tahu berapa banyak instrumen identik yang dimainkan bersamaan. Mengatasi hal ini, penandaan musik untuk Gamelan membutuhkan segmentasi instrumen ini dengan kepadatan di antara mereka. Sehingga perlu dilakukan analisa kerapatan sinyal.

Tempo tercepat dari ensembel Gamelan adalah 300 ms. Dalam suatu permainan Gamelan terdapat dua atau lebih saron dimainkan secara bersamaan dalam notasi yang sama. Memisahkan dua atau lebih sinyal merupakan hal yang

sangat penting untuk menemukan fitur sinyal. Selain itu memisahkan sinyal identik sangat penting untuk mengetahui jumlah instrumen identik yang dimainkan. Selain itu, pemisahan instrument identic juga bisa dimanfaatkan untuk proses penandaan musik. Kitahara mengidentifikasi alat musik polifonik seperti piano, flute dan gitar, dan dia menggunakan alat musik sintetis. Suara instrumen dipisahkan oleh lebih dari 10 interval waktu msecond, tetapi pada penelitian itu tidak memainkan dua atau lebih instrumen identik secara bersamaan dalam notasi musik yang sama. Kitahara mengidentifikasi setiap instrumen yang dimainkan dengan notasi musik yang berbeda tetapi bukan instrumen yang identik (Kitahara *et al.*, 2007). Memisahkan dua atau lebih alat musik identik adalah hal yang sulit karena kepadatan suara antara Sarons terdengar sangat singkat, sekitar 10 ms (Suprpto, Purnomo and Hariadi, 2009).

Gamelan diproduksi secara manual, dan dikerjakan oleh pengrajin. Hasil produksi alat Gamelan dari satu pengrajin ke pengrajin lain bisa sangat berbeda. Hal itu terjadi karena tidak ada standarisasi dalam pembuatan instrumen Gamelan. Pengrajin sangat bergantung pada sensitivitas pendengarannya dalam pembuatan Gamelan, sementara sensitivitas pendengaran dari masing-masing pengrajin Gamelan mungkin berbeda dari satu ke yang lain (Technology, 2015). Setiap komponen Gamelan mempunyai karakteristik tersendiri dan menciptakan spesifik melodi tersendiri, yang tidak dapat diganti atau diduplikasi oleh yang lain (Ishida, 2008).

Gamelan dibuat secara manual oleh pengrajin berdasarkan kepekaan pendengaran dan pengalamannya dalam mendengarkan Gamelan. Akibatnya, fluktuasi frekuensi di masing-masing instrumen Gamelan tidak diatur dengan benar (Suprpto, Member and Purnomo, no date). Karena itu, kita perlu mensintesis sinyal Gamelan untuk membuat sinyal menjadi sinyal referensi. Ayers menggunakan modulasi amplitudo untuk mensintesis Gong Ageng dan dapat menghasilkan nada yang sangat mirip dengan aslinya (Ayers and Bay, no date). Dalam penelitian ini, kami mengekstrak sinyal Saron identik menggunakan Least Mean Square (LMS), dan menggunakan sinyal sintetis untuk referensi.

Pada instrumen musik Gamelan, terdapat beberapa instrumen yang identic yang dimainkan secara bersamaan. Sehubungan dengan persyaratan ini,

kami mengusulkan untuk menggunakan LMS adaptif untuk melakukan segmentasi instrumen identik, yang dimainkan secara simultan dengan cara menganalisa kerapatan sinyal.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka pertanyaan pada penelitian dititikberatkan pada bagaimana dapat menerapkan deteksi instrument identik menggunakan LMS adaptif. Perumusan masalah pada thesis ini dapat dirumuskan sebagai:

- a. Bagaimana mengekstraksi instrument identic dengan interval waktu yang sangat pendek.
- b. Bagaimana mengimplementasikan metode LMS untuk pendeteksian instrument identik.

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai pada tesis ini adalah menguji keberhasilan metode LMS untuk pendeteksian instrument identik.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

- a. File berformat *.wav
- b. Metode yang digunakan adalah LMS
- c. Instrumen music yang digunakan adalah Gamelan dari kelompok balungan yaitu saron.

1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah menerapkan ilmu pengetahuan dan teknologi pada pelestarian budaya khususnya Gamelan. Dengan adanya proses deteksi instrumen identik ini diharapkan nantinya akan bermanfaat untuk proses penandaan musik. Penandaan musik tersebut bisa dilakukan untuk membuat dinamik musik.

1.6 Metodologi Penelitian

Penelitian *deteksi instrument identik menggunakan least mean square*, terdapat tahapan untuk mencapainya. Metodologi penelitian yang dipergunakan dimulai dari studi literatur, pengumpulan data desain sistem, pengujian sistem dan penelitian, penyusunan laporan tesis. Penjelasan dari bagian metodologi penelitian adalah sebagai berikut:

a. Studi Literatur

Tahapan pertama dalam penelitian adalah studi literatur. Proses ini digunakan untuk menentukan topik penelitian dan judul. Setelah mendapat judul, kemudian mencari literatur di jurnal. Hasil review beberapa jurnal digunakan untuk merumuskan latar belakang, permasalahan dan tujuan penelitian.

b. Pengumpulan Data

Tahapan setelah studi literatur adalah pengumpulan data. Tahap ini digunakan untuk mencari data sebagai obyek topik. Data yang dipergunakan bertipe .wav pada sinyal Gamelan.

c. Desain Sistem

Pendeteksian sinyal kembar memiliki usulan sistem yang terdiri dari data music Gamelan, *pre-processing*, pemisahan instrumen.

d. Pengujian Sistem dan Penelitian

Tahap ke empat ini menguji dan meneliti tentang hasil dari sistem yang diusulkan beserta kelemahanya.

e. Penyusunan Buku Tesis

Penyusunan buku tesis merupakan tahap terakhir dalam metodologi penelitian. Penyusunan buku terdiri dari latar belakang, kajian pustaka, metodologi penelitian, hasil dan pembahasan berserta kesimpulan dan saran.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

Bab ini berisi ulasan mengenai kajian penelitian terkait mengenai penelitian ini. Penelitian terkait ini digunakan untuk membandingkan hasil penelitian sebelumnya dengan penelitian yang sedang dilakukan sekarang. Hasil penelitian terkait untuk mengusulkan metodologi penelitian yang digunakan dalam menyelesaikan permasalahan yang telah dibahas pada bab 1. Kedua, mengenai kajian pustaka dalam bab ini dibahas mengenai dasar teori yang digunakan dalam metode penelitian.

2.1 Kajian Penelitian Terkait

Dari referensi yang ada, berikut ini adalah ulasan dari berbagai penelitian terkait yang dilakukan oleh peneliti lain yang dapat dijadikan sebagai pendekatan untuk membantu memecahkan masalah pada penelitian yang dilakukan oleh penulis.

Beberapa penelitian yang terkait dengan Gamelan dan aplikasinya, antara lain penelitian yang dilakukan (Suprpto et al., 2009), dengan judul “Sound Modeling of Javanese Traditional Music Instrument”, dijelaskan bahwa model suara Gamelan dari tiap-tiap Gamelan berbeda-beda. Dalam paper tersebut menggunakan data berupa 3 alat dari 1 set Gamelan yaitu peking, saron dan demung dan disimpulkan bahwa terjadi perbedaan model suara pada alat yang sama, hal ini dikarenakan tidak ada standart dalam pembuatannya.

(Technology, 2015) menganalisa sinyal Gamelan menggunakan Adaptive Waveform Pattern Matching. Pada penelitian tersebut diperoleh model redaman untuk beberapa kelompok Gamelan yaitu Demung, Saron dan Peking. Model tersebut bisa digunakan untuk membangkitkan sinyal referensi untuk beberapa penelitian mengenai Gamelan kedepannya.

(Ishibashi *et al.*, 2016) menganalisa sinyal musik rakyat Jepang menggunakan Fourier berbasis LMS untuk mengakomodasi berbagai karakteristik waktu. Dalam penelitian tersebut, respons frekuensi dari algoritma adaptif ditinjau

untuk memberikan wawasan mengenai algoritma adaptif. Pertama, estimasi frekuensi dilakukan untuk mengenali frekuensi setiap nada. Kedua, analisa Fourier berbasis LMS untuk memperkirakan amplitudo sinusoidal dan toleransi terhadap noise. Selain itu, metode yang diusulkan dan membuang interferensi dari nada yang berdekatan. Ketiga, perbandingan power digambarkan untuk menemukan kesalahan kinerja Kagura. Hal itu dilakukan menggunakan hubungan antara sinyal input dan amplitudo yang diperkirakan.

(Suprpto et al., 2009) mengimplementasikan filter adaptif untuk segmentasi identik dari permainan music tradisional. Penelitian tersebut mengarah pada kemampuan untuk menunjukkan perubahan fitur Gamelan, seperti tempo dan lain sebagainya. Hasil penelitian tersebut akan berguna untuk penandaan music instrument Gamelan.

(Kitahara et al., 2007) mengidentifikasi alat musik polifonik seperti piano, flute dan gitar, dan dia menggunakan alat musik sintetis. Suara instrumen dipisahkan oleh lebih dari 10 interval waktu msecond. Tetapi, pada penelitian itu tidak memainkan dua atau lebih instrumen identik secara bersamaan dalam notasi musik yang sama. Kitahara mengidentifikasi setiap instrumen yang dimainkan dengan notasi musik yang berbeda tetapi bukan instrumen yang identic. Pada penelitian tersebut digunakan sinyal referensi berupa sinyal saron. Hasil ini digunakan untuk menunjukkan perubahan fitur Gamelan.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Gamelan

Gamelan merupakan salah satu alat musik khas dan berasal dari Indonesia yang dimainkan ansambel (secara bersama-sama) serta menggunakan tangga nada Pentatonik. Istilah ‘Gamelan’ berasal dari kata ‘gamel’ yang berarti memukul atau menabuh. Gamelan biasa dimainkan sebagai sebuah pertunjukan seperti wayang kulit dan ketoprak.

Salah satu kekayaan budaya Indonesia yang sudah diakui dunia dalam bidang seni music adalah Gamelan (Lindsay, 1992). Gambar 2.1 menunjukkan keberadaan Gamelan di berbagai belahan dunia. Bahkan di beberapa negara telah

terdapat puluhan komunitas Gamelan dan universitas yang saling berbagi ilmu seputar Gamelan.



Gambar 2.1 Sebuah Permainan Gamelan (Lindsay, 1992)

Di Indonesia, terdapat beberapa variasi Gamelan. Variasi ini dipengaruhi oleh budaya yang ada disekitarnya, diantaranya Gamelan jawa, Gamelan bali, Gamelan banyuwangi dan lain sebagainya. Bahkan di daerah tertentu, Gamelan menjadi benda keramat yang tidak bisa dimainkan secara sembarangan, yaitu hanya dimainkan pada saat-saat tertentu pada acara keagamaan. Namun, bermacam-macam variasi Gamelan tersebut memiliki perangkat penyusun Gamelan yang sama.

Perbedaan variasi Gamelan tersebut terletak pada cara memainkan alat musiknya. Misalnya, musik Gamelan jawa memiliki karakteristik suara yang lembut dan tempo yang lambat dan musik Gamelan bali yang cenderung dimainkan dengan tempo yang lebih cepat. Dalam proses pembuatannya, Gamelan dilakukan dengan cara yang berbeda antar pengrajin. Dengan kata lain, tidak ada standar khusus untuk memproduksi Gamelan, sehingga suara yang dihasilkan antara satu Gamelan dengan Gamelan yang lain dapat berbeda.



a. Gamelan di Amerika (Lindsay, 1992).



b. Gamelan di Eropa (Lindsay, 1992)



c. Gamelan di Jepang (Lindsay, 1992).



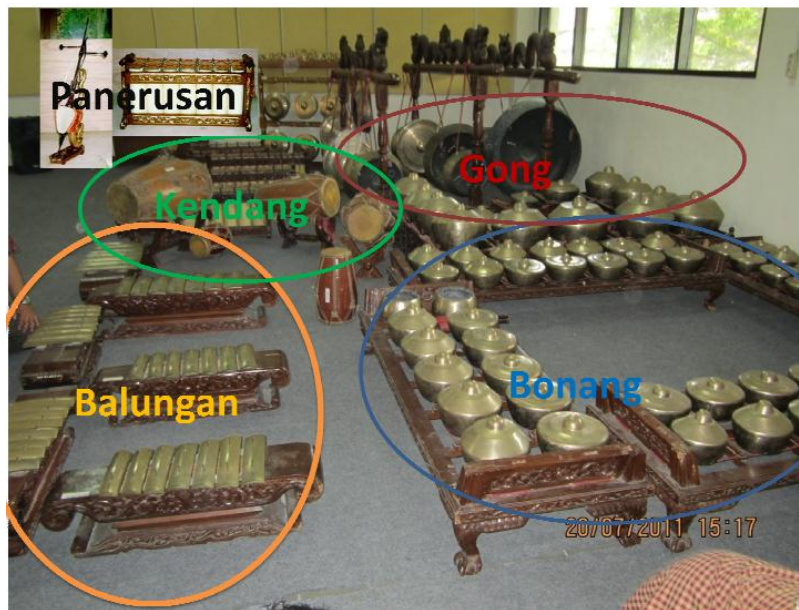
d. Pemain bola memainkan Gamelan (Lindsay, 1992).

Gambar 2.2 Gamelan di berbagai belahan dunia

Gamelan Jawa sekarang ini bukan hanya dikenal di Indonesia saja, bahkan telah berkembang di luar negeri. Gambar 2.2.(a) merupakan permainan gamelan di negara Amerika Serikat, Gambar 2.2.(b) di benua Eropa, Gambar 2.2.(c) di Jepang dan Gambar 2.2.(d) oleh pemain bola luar negeri. Gamelan merupakan seperangkat alat dari logam serta kelengkapannya yang dapat menghasilkan bunyi tertentu. Apabila Gamelan ini dimainkan bersama sesuai dengan aturan secara harmonis akan menghasilkan alunan musik yang tidak hanya indah didengar namun juga dapat merasuki kalbu. Gamelan adalah ensambel musik yang biasanya menonjolkan metalofon, gambang, gendang, dan gong. Orkes Gamelan kebanyakan terdapat di pulau Jawa, Madura, Bali, dan Lombok di Indonesia dalam berbagai jenis ukuran dan bentuk ensambel. Di Bali dan Lombok saat ini, dan di Jawa lewat abad ke-18, istilah gong lebih dianggap sinonim dengan Gamelan. Penalaan dan pembuatan orkes Gamelan adalah suatu proses yang kompleks. Gamelan menggunakan empat cara penalaan, yaitu sléndro, pélog, “Degung” (khusus daerah Sunda, atau Jawa Barat), dan “madenda” (juga dikenal sebagai diatonis, sama seperti skala minor asli yang banyak dipakai di Eropa).

2.2.2 Karakteristik Gamelan

Instrumen Gamelan terdiri dari 5 kelompok seperti pada Gambar 2.3 yaitu *Gongan* (Gong Ageng, Gong Suwukan, Kempul, Kenong, Kethuk dan Kempyang), *Balungan* (Saron, Demung, Saron Barung, Saron Peking, Slenthem), *Bonang* (Bonang Barung, Bonang Penerus), *Panerusan* (Rebab, Gender Barung, Gender Panerus, Gambang, Siter, Suling) dan *Kendhang* (Kendhang Ageng, Kendhang Ciblon, Kendhang Sabet, Kendhang Ketipung) (Sumarsam, 1988).



Gambar 2.3 Kelompok Instrumen Gamelan (Wintarti, 2016)

Komposisi music Gamelan diciptakan dengan beberapa aturan, yang terdiri dari beberapa putaran dan pethet, dibatasi oleh satu gongan serta melodinya diciptakan dalam unit yang terdiri dari 4 nada. Komponen utama alat music Gamelan adalah bamboo, logam, dan kayu.

Tangga nada Gamelan berbeda dengan tangga nada music barat yang memiliki tujuh nada, yaitu C, D, E, F, G, A, dan B. Pada Gamelan terdapat empat jenis tangga nada yaitu pelog, slendro, degung (khusus daerah Sunda atau Jawa Barat) dan madenda (dikenal sebagai diatonis). Dari keempat tangga nada, tangga nada yang digunakan pada Gamelan jawa adalah tangga nada pelog dan slendro. Kedua tangga nada tersebut memiliki nada sebagai berikut :

- a) Pada tangga nada pelog, terdapat tujuh tangga nada yaitu 1,2,3,4,5,6 dan 7 {C+ D E- F# G# A B}, dengan perbedaan interval yang cukup besar.

- b) Pada tangga nada slendro terdiri dari lima nada, yaitu 1,2,3,5 dan 6 {C- D E+ G A}, dengan perbedaan interval yang lebih kecil dari pelog.

Pada komposisi music Gamelan terdapat beberapa aturan, diantaranya music Gamelan terdiri dari beberapa putaran dan patet, dibatasi satu gong serta melodinya dibentuk dari 4 nada. Beberapa instrumen, seperti saron dan bonang, memiliki frekuensi dasar yang sama, tetapi mereka memiliki timbre yang berbeda. Setiap instrumen Gamelan dalam keluarga memiliki satu suara oktaf. Pada dasarnya, saron terdiri dari lima notasi sederhana: 1, 2, 3, 5 dan 6, pentatonis. Garis bawah seperti 6 berarti oktaf lebih rendah, dan tanda apostrof seperti 1' menunjukkan oktaf lebih tinggi. Instrumen Saron tidak pernah memiliki notasi lebih rendah dari 6, dan lebih tinggi dari 3 '. Setiap instrumen hanya terdiri satu nada oktaf, sedangkan oktaf lainnya dimainkan oleh instrumen lain. Dalam Gamelan, maka notasi yang sama dimainkan secara bersamaan oleh beberapa instrumen meskipun mereka memiliki oktaf yang berbeda. Setiap lempeng menunjukkan satu notasi Gamelan.

Alat Gamelan terbuat dari lempengan besi, kuningan ataupun perunggu. Alat ini dipukul dengan palu kayu, ada pula yang dipukul dengan kayu yang terbungkus lapisan kain. Cara membunyikan setiap instrument berbeda satu terhadap yang lain. Selama dimainkan tempo sering diubah ubah sesuai jenis orchestra yang dimainkan.

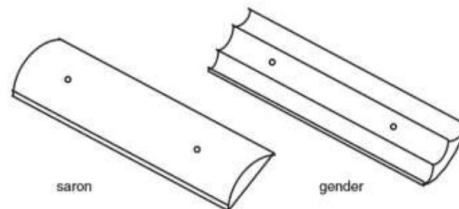
Spektrum frekuensi tiap alatnya sebuah Gamelan bisa tidak sama dari perangkat Gamelan yang lainnya, sehingga sulit diwujudkan dua set Gamelan yang identik. Laras Gamelan ada dua, Slendro yang bernada 5, dengan notasi 1, 2, 3, 5 dan 6, Pelog yang bernada 7, dengan notasi 1, 2, 3, 4, 5, 6 dan 7 (Sumarsam, 2003). Meskipun ada 7 nada di Pelog, yang sering dimainkan hanya 5 buah. Kombinasi notasi yang dipakai diatur oleh Pathet. Pathet lima menggunakan komposisi 1, 2, 4 dan 6, pathet nem dengan notasi 1, 2, 3, 5 dan 6, pathet barang, dengan notasi 2, 3, 5, 6 dan 7, sedangkan pathet manyuro dengan notasi 1, 2, 3, 5 dan 6. Slendro terdapat aturan notasi yang dipakai, Pathet nem dengan notasi 2, 3, 5 dan 6, Pathet sanga dengan notasi 1, 2, 5 dan 6, dan Pathet manyuro dengan notasi 1, 2, 3 dan 6

Tabel 2.1 Frekuensi Dasar Nada Saron Slendro (Pradhana & Suprpto, 2013)

No Saron	Frekuensi Dasar Suara Saron Slendro (Hz)					
	1	2	3	5	6	1'
1	521.5	616.8	715.4	814.7	939.8	1080.8
2	544.1	619.0	716.1	814.6	942.4	1082.3
3	542.4	620.7	712.8	819.8	934.6	1086.1
4	542.8	620.4	713.0	820.2	934.3	1086.3
5	543.0	620.4	712.9	820.1	934.2	1086.2
6	542.8	620.3	713.1	820.0	934.2	1086.2
7	537.0	617.9	710.6	816.7	929.7	1044.3
8	544.3	618.9	716.1	814.5	942.5	1082.1
9	539.6	617.9	711.2	816.0	934.0	1082.7
10	541.1	617.4	710.5	815.6	932.8	1083.7
11	514.9	589.3	681.9	776.0	896.7	1039.3
12	536.9	611.4	709.9	815.2	928.0	1073.2
13	544.2	618.9	716.2	814.5	942.6	1082.1
14	541.8	620.0	714.9	814.4	940.5	1083.7
15	541.5	616.8	715.4	814.8	939.8	1080.8
Min	514.9	589.3	681.9	776.0	896.7	1039.3
Max	544.3	620.7	716.2	820.2	942.6	1086.3
Rata2	539.3	614.8	711.2	814.8	932.4	1077.0

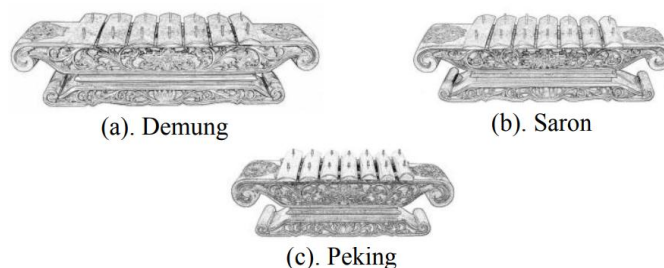
Dari Tabel 2.1 dapat diketahui bahwa frekuensi nada saron tidak selalu sama karena pembuatan saron berbeda-beda. Pembuatan saron tergantung pada empu Gamelan yang mempengaruhi penglarasan suatu saron, tanpa standar apapun. Hal ini menyebabkan nada yang dihasilkan adapat bervariasi. Selain karena factor pembuatan, frekuensi dasar dari suatu nada saron juga dapat berbeda karena teknik permainannya yang dipengaruhi oleh posisi pemukulan dan kekuatan pemukulan. Selain itu suara sebuah Gamelan juga dapat berubah karena instrument Gamelan mengalami kerusakan yang disebabkan oleh beberapa factor, seperti : usia instrument Gamelan sudah sangat tua dan sering digunakan, terjadi korosi pada perunggu atau terjadi pelapukan pada kayu yang digunakan.

Saron merupakan istilah umum untuk instrumen Gamelan berbentuk bilahan dengan enam atau tujuh bilah yang terbuat dari perunggu atau kuningan yang ditumpangkan pada bingkai kayu yang juga berfungsi sebagai resonator (A. Sethares, 2005) yang ditunjukkan Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Bentuk bilah pada saron (A. Sethares, 2005)

Saron ditabuh dengan pemukul yang terbuat dari kayu atau tanduk kerbau. Saron muncul dengan berbagai ukuran tergantung tinggi rendahnya nada dan masing-masing memiliki antara 6 hingga 9 bilah. Berdasar ukuran dan fungsinya, terdapat tiga jenis saron yaitu: saron demung (demung) pada Gambar 2.5.(a), saron barung (saron) pada Gambar 2.5.(b), dan saron panerus (peking) pada Gambar 2.5.(c). Perbedaan antar ketiganya terletak pada ukurannya yang berbedabeda dan oktaf nada yang dihasilkan. Saron demung atau demung menghasilkan nada dengan oktaf terendah dalam kelompok saron, dengan ukuran fisik yang lebih besar daripada saron dan peking. Demung memiliki wilahan yang relatif lebih tipis, sehingga nada yang dihasilkan lebih rendah. Saron barung atau hanya disebut saron menghasilkan nada satu oktaf lebih tinggi daripada demung dan lebih rendah satu oktaf daripada peking, dengan ukuran fisik yang lebih kecil daripada demung. Sedangkan yang terakhir adalah saron penerus atau yang biasa disebut peking. Peking mempunyai ukuran yang paling kecil dalam kelompok saron dan menghasilkan nada satu oktaf lebih tinggi daripada saron.



Gambar 2.5 Kelompok Saron (A. Sethares, 2005)

2.2.3 Sinyal

Sinyal merupakan suatu fungsi yang dapat menggambarkan fenomena fisik (Oppenheim dan Willsky, 1997). Sinyal – sinyal yang natural pada umumnya seperti sinyal suara merupakan sinyal continue dimana memiliki nilai yang tidak terbatas. Sedangkan pada komputer, semua sinyal yang dapat diproses oleh komputer hanyalah sinyal diskrit atau disebut juga sinyal digital.

Sinyal memiliki nilai real atau nilai skalar yang merupakan fungsi dari variabel waktu. Contoh-contoh sinyal misalnya arus pada suatu rangkaian listrik, sinyal wicara, sinyal biomedik seperti *electrocardiogram* (ECG) atau *electroencephalogram* (EEG). Sinyal dapat diklasifikasikan menjadi dua, yaitu :

1. Sinyal Analog

Sinyal analog adalah sinyal yang berupa gelombang elektromagnetik yang mempunyai nilai untuk setiap waktu, sinyal ini bersifat kontinyu terhadap waktu. Frekuensi adalah jumlah getaran bolak balik sinyal analog dalam satu siklus lengkap per detik. Satu siklus lengkap terjadi saat gelombang berada pada titik bertegangan nol, menuju titik bertegangan positif tertinggi pada gelombang, menurun ke titik tegangan negatif dan menuju ke titik nol kembali. Semakin tinggi kecepatan atau frekuensinya semakin banyak siklus lengkap yang terjadi pada suatu periode tertentu.

2. Sinyal Digital

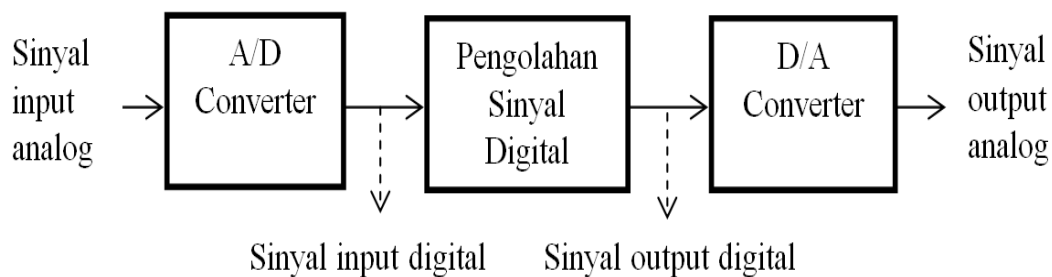
Sinyal digital adalah sinyal yang tidak terdefinisi untuk setiap waktu sinyal ini bersifat diskrit terhadap waktu. Sebagai ganti gelombang maka signal pada sistem digital ditransmisikan dalam bentuk bit bit biner. Sistem biner adalah sistem on – off (atau sistem 1 – 0), jadi bila ada tegangan atau on maka di angkakan 1, sedang bila tidak ada tegangan atau off maka diangkakan 0.

2.2.4 Pengolahan Sinyal Digital

Digitalisasi merupakan proses konversi sinyal analog menjadi sinyal digital seperti pada Gambar 2.6, yang terdiri atas pencuplikan, kuantisasi, dan pengkodean. Pencuplikan adalah proses untuk menggambarkan sinyal kontinyu

sebagai nilai runtun periodis. Kuantisasi meliputi pendekatan representasi nilai gelombang oleh salah satu nilai terhingga. Pengkodean merupakan penandaan nilai aktual untuk setiap nilai, pengkodean yang sering digunakan adalah pengkodean biner (Dessy, I: 2006). Dalam proses ini sinyal analog kontinyu mampu diubah menjadi runtun kode yang terpilih dari sinyal terhingga.

Dalam proses pengolahan sinyal analog, sinyal input masuk ke Analog Signal Processing (ASP), diberi berbagai perlakuan (misalnya pemfilteran, penguatan, dsb.) dan outputnya berupa sinyal analog. Proses pengolahan sinyal secara digital memiliki bentuk sedikit berbeda. Komponen utama system ini berupa sebuah processor digital yang mampu bekerja apabila inputnya berupa sinyal digital.

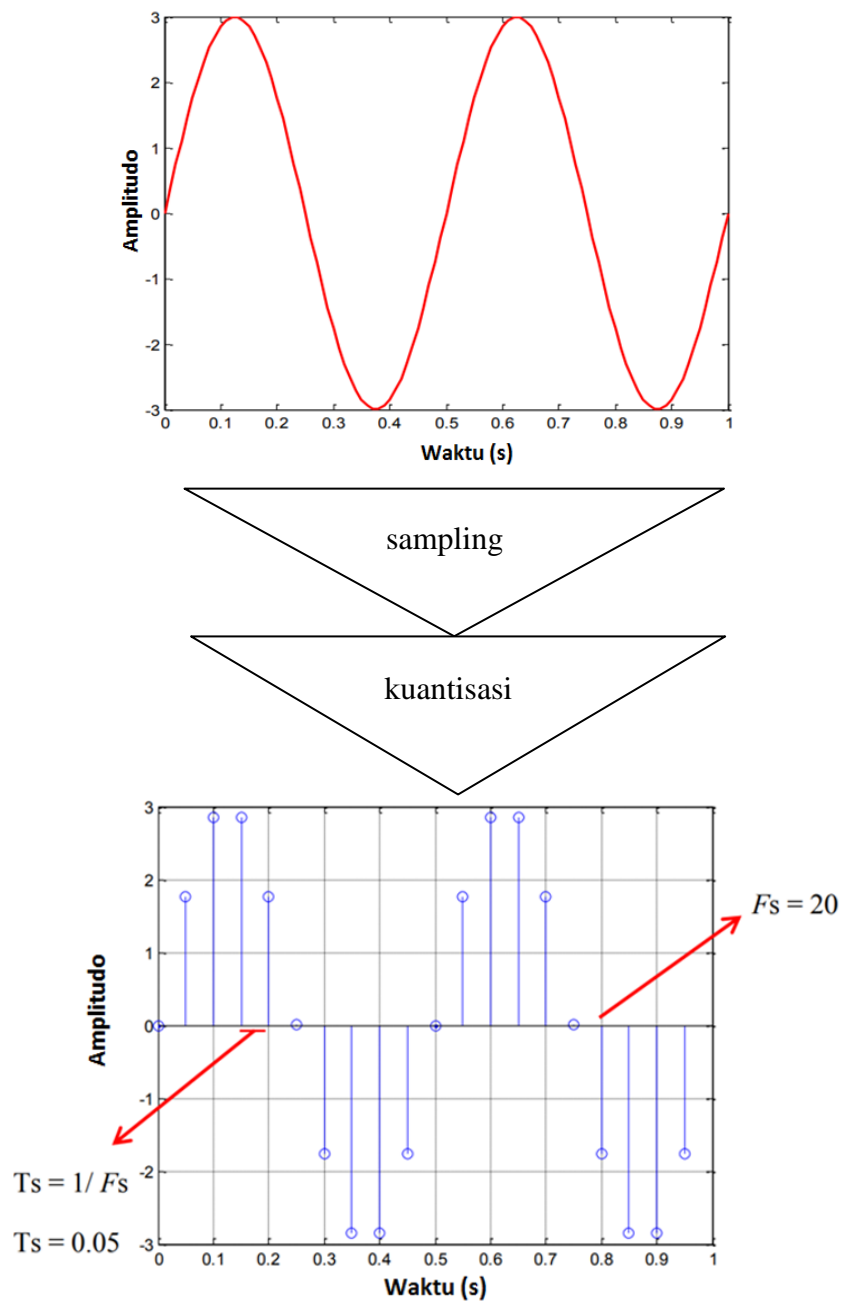


Gambar 2.6 Proses Pengolahan Sinyal Digital (Dessy, I: 2006)

Untuk sebuah input berupa sinyal analog perlu proses awal yang bernama digitalisasi melalui perangkat yang bernama analog-to-digital conversion (ADC), dimana sinyal analog harus melalui proses sampling, quantizing dan coding. Demikian juga output dari processor digital harus melalui perangkat digital-to-analog conversion (DAC) agar outputnya kembali menjadi bentuk analog. Ini bisa kita amati pada perangkat seperti PC, digital sound system, dan sebagainya.

Unjuk kerja dari suatu ADC bergantung pada beberapa parameter, parameter utama yang menjadi pertimbangan adalah :

1. Kecepatan maksimum dari waktu cuplik.
2. Kecepatan ADC melakukan konversi.
3. Resolusi dari *quantizer*, misal 8 bit akan mengubah menjadi 256 tingkatan nilai.
4. Metoda kuantisasi akan mempengaruhi terhadap kekebalan *noise*.



Gambar 2.7 Proses Sampling Sinyal

Proses sampling mengubah representasi yang awalnya sinyal kontinu menjadi sinyal diskrit. Pada Gambar 2.7 merupakan proses sampling sinyal 20 f_s . Salah satu contoh sinyal adalah sinyal suara. Sinyal suara dapat dianalisis untuk didapatkan informasi yang terkandung didalamnya. Suara dihasilkan dari getaran sebuah benda. Getaran ini menimbulkan gelombang. Gelombang akan memiliki perulangan pada waktu tertentu yang disebut dengan periode. Gelombang terdiri

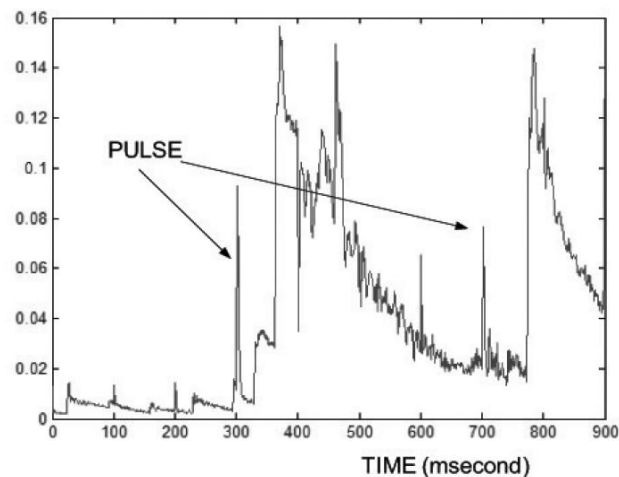
dari beberapa elemen diantaranya frekuensi, amplitude, fasa dan *velocity*. Perbedaan antara elemen-elemen tersebut akan menciptakan suara yang berbeda. Untuk dapat dianalisis secara komputasi, sinyal suara yang masih analog harus didiskritkan agar menjadi sinyal digital. Cara untuk mendiskritkan sinyal dilakukan dengan dua tahapan yang ditunjukkan Gambar 2.8 yaitu tahap sampling dan tahap kuantisasi. Tahap sampling yaitu mengambil sinyal secara periodik dengan periode sampling t . Dalam proses sampling dikenal istilah frekuensi sampling (f_s) yang menunjukkan banyaknya sampling dalam satuan waktu. Tahap kuantisasi adalah tahap menentukan nilai dari titik pada sampling mendekati nilai yang sebenarnya.

Karakteristik sinyal diskrit berbeda dengan sinyal kontinyu. Sinyal kontinyu memiliki nilai untuk setiap satuan waktu. Namun sinyal diskrit bersifat nilai terdapat pada beberapa titik yang mewakili satuan waktu tertentu. Satuan waktu tersebut dapat diketahui dengan nilai $1/f_s$. Meskipun berbeda, sinyal diskrit ini dianggap mampu mewakili sinyal kontinyu awal.

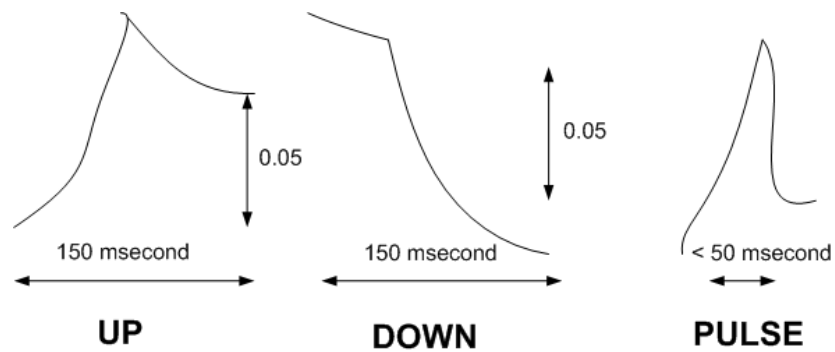
Teori Nyquist perlu diperhatikan saat proses sampling, aturan Nyquist menyebutkan bahwa frekuensi sampling harus lebih besar atau sama dengan dua kali frekuensi sinyal. Hal ini bertujuan agar sinyal dapat dikembalikan kebentuk analog tanpa mengalami perubahan frekuensi. Jika aturan Nyquist tidak terpenuhi, maka sinyal yang dihasilkan tidak dapat mewakili sinyal kontinyu. Lebih lanjut lagi, jika dilakukan analisis terhadap frekuensi penyusunnya, maka akan diperoleh beberapa frekuensi tinggi akan hilang.

2.2.5 Sinyal Balungan

Kelompok Balungan dibangun oleh tiga instrumen yaitu Demung, Saron dan Peking. Setiap instrumen Balungan memiliki satu oktaf, sehingga oktaf lainnya dimainkan oleh instrumen lain. Demung memiliki oktaf terendah, rentang frekuensi sekitar 200 - 500 Hz, Saron memiliki oktaf moderat, sekitar 500 - 1000 Hz, dan Peking memiliki oktaf tertinggi, yaitu sekitar 1000 - 2000 Hz. Alat Balungan dibangun oleh beberapa bilah Gamelan. Setiap pisau mewakili notasi musik. Gambar 2. 8 menggambarkan envelope sinyal balungan dan Gambar 2.9 menunjukkan pulse dan sinyal.



Gambar 2.8 Envelope Sinyal Balungan (Suprpto, Purnomo and Hariadi, 2009)



Gambar 2.9 Pulse dan Sinyal (Suprpto, Purnomo and Hariadi, 2009)

2.2.6 Sintetis Bunyi

Sintesis bunyi merupakan suatu mekanisme rekonstruksi sinyal bunyi (asli) menjadi suatu sinyal baru yang sama dengan bunyi aslinya atau bahkan lebih baik dari bunyi asalnya. Terdapat berbagai metode dalam melakukan sintesis bunyi, salah satunya dengan sintesis bunyi aditif. Sintesis aditif barangkali merupakan bentuk tertua dari sintesis bunyi digital. Secara teoritis, sintesis bunyi aditif di dasarkan pada konsep klasik yang telah lama dikenal yakni analisis Fourier. Berikut adalah penjelasan tentang mekanisme sintesis bunyi aditif secara konseptual.

Sebagaimana telah dijelaskan di atas, bunyi merupakan suatu gelombang akibat perubahan tekanan medium secara periodik. Oleh karena itu, bunyi dapat

dinyatakan secara matematis sebagai suatu fungsi yang periodik. Suatu fungsi periodik sembarang $F(t)$ dengan periode T dapat dinyatakan sebagai :

$$F(t) = F(t + T) \quad (2.1)$$

Lebih lanjut, berdasarkan analisis Fourier, $F(t)$ dapat dianalisis kedalam fungsi-fungsi sinus $[\sin(2\pi t/T)]$ dan cosinus $[\cos(2\pi t/T)]$ karena fungsi-fungsi tersebut juga periodik (Hirose dan Lonngren, 1985:277). Dengan demikian diperoleh:

$$F(t) = a_0 + a_1 \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right) + a_2 \cos\left(\frac{4\pi t}{T}\right) \dots + b_1 \sin\left(\frac{2\pi t}{T}\right) + b_2 \sin\left(\frac{4\pi t}{T}\right) + \dots \quad (2.2)$$

atau

$$F(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos\left(\frac{2\pi n t}{T}\right) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin\left(\frac{2\pi n t}{T}\right) \quad (2.3)$$

dengan a_0 , a_n , dan b_n adalah koefisien-koefisien Fourier yang khas untuk setiap $F(t)$. Agar persamaan (2.1) nampak lebih sederhana, maka digunakan peubah baru $x = 2\pi t/T$. Dengan demikian diperoleh:

$$F(x) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos(nx) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin(nx) \quad (2.4)$$

dimana periode dari $F(x)$ adalah 2π karena $t = T$ pada saat $x = 2\pi$. Persamaan (2.2) dapat digunakan untuk menentukan koefisien-koefisien Fourier, yaitu :

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} F(x) \cos(nx) dx \quad (2.5)$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} F(x) \sin(nx) dx \quad (2.6)$$

dengan $n = 1, 2, 3, \dots$ dan

$$a_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} F(x) dx \quad (2.7)$$

Dapat diamati bahwa nilai a_0 tidak lain merupakan rerata fungsi $F(x)$. Pada persamaan (2.2), karena $F(t)$ dikonstruksi kembali menjadi suatu deret fungsi dimana setiap sukunya adalah fungsi kosinus dan sinus dengan $n = 1, 2, 3, \dots$, maka dikatakan bahwa $F(t)$ dinyatakan dalam suatu deret fungsi yang memiliki suku-suku harmonik.

Dalam suatu sintesis audio pada umumnya, sinyal yang disintesis memiliki rerata fungsi nol, sehingga $a_0 = 0$. Jika diinginkan suatu sinyal berupa fungsi genap (fungsi yang simetri pencerminan pada sumbu-y di titik asal) dari hasil sintesis bunyi, maka cukup bagian kosinus saja yang digunakan dalam persamaan (2.2). Hal ini disebabkan suatu sinyal dengan fungsi genap akan menampilkan koefisien-koefisien a_n . Sebaliknya, karena fungsi genap memiliki sifat $F(x) = -F(x)$, maka substitusi $-x$ ke dalam persamaan (2.6) akan menghasilkan:

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} F(x) \sin(nx) dx = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} F(-x) \sin(n[-x]) dx = -\frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} F(x) \sin(nx) dx \quad (2.8)$$

Dengan substitusi $a_0 = 0$ dan $b_n = 0$ ke dalam persamaan (2.8), diperoleh:

$$F(t) = \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos\left(\frac{2\pi n t}{T}\right) \quad (2.9)$$

atau

$$F(t) = \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos(2\pi f_n t) \quad (2.10)$$

dengan $f_n = n/T$ adalah frekuensi harmonik ke- n . Persamaan (2.10) inilah yang digunakan dalam sintesis bunyi aditif. Dalam istilah akustik, a_n adalah amplitudo dari frekuensi akustik ke- n dan t adalah waktu. $A_n \cos(2\pi f_n t)$ adalah suku ke- n dari deret fungsi kosinus atau disebut pula osilator ke- n . Untuk jumlah osilator yang berhingga, persamaan (2.10) dapat diubah batasnya menjadi:

$$F(t) = \sum_{n=1}^N a_n \cos(2\pi f_n t) \quad (2.11)$$

Aplikasi untuk sintesis bunyi dapat dimisalkan sebagai berikut; suatu sinyal bunyi awal memiliki sebuah osilator dengan frekuensi fundamental $f_1 = 1/T$, yang diikuti oleh isolator-isolator dengan frekuensi harmonik, yakni:

$$f_2 = 2 f_1 = 2/T, \quad f_3 = 3 f_1 = 3/T, \dots, f_N = N f_1 = N/T \quad (2.12)$$

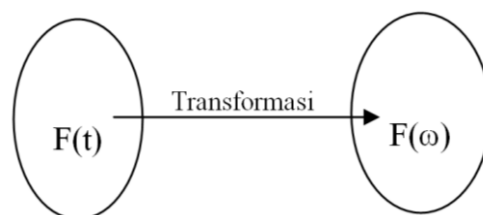
yang jumlahnya berhingga. Frekuensi-frekuensi $f_1, f_2, f_3, \dots, f_N$ dengan amplitudo masing-masing $a_1, a_2, a_3, \dots, a_N$ disubstitusikan ke dalam persamaan (2.11) adalah hasil sintesis bunyi yang dapat dibunyikan kembali.

Dengan ditentukannya suku-suku deret kosinus (osilator-osilator) untuk suatu sinyal bunyi, maka sinyal bunyi tersebut telah mengalami rekonstruksi menjadi sinyal bunyi yang sama dengan bunyi awal atau bahkan lebih baik dari bunyi awal. Selain untuk sinyal bunyi yang memiliki frekuensi harmonik, persamaan (2.11) dapat pula digunakan untuk suatu himpunan frekuensi yang tidak harmonik. Sintesis bunyi aditif dapat menghasilkan suara yang tak harmonik jika osilator-osilatornya memiliki frekuensi yang bukan kelipatan bulat dari suatu frekuensi fundamental.

2.2.7 Fast Fourier Transform (FFT)

FFT merupakan metode yang sangat efisien untuk menghitung DFT secara komputasional. Sebagai akibatnya penginterpretasian hasil FFT hanya memerlukan pemahaman dari DFT. Efisiensi komputasional FFT muncul dari kepandaian menyusun kembali suku-suku dalam DFT sedemikian hingga suku-suku yang sama hanya dihitung sekali.

Transformasi Fourier adalah suatu model transformasi yang memindahkan domain spasial atau domain waktu menjadi domain frekuensi seperti pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Transformasi Fourier

Transformasi Fourier merupakan suatu proses yang banyak digunakan untuk memindahkan domain dari suatu fungsi atau obyek ke dalam domain frekuensi. Dalam proses pengolahan suara digital, seperti untuk menganalisis suara Gamelan, maka harus diketahui frekuensi dasar untuk masing-masing nada. Hal ini bertujuan agar terbentuk tabel frekuensi yang dapat digunakan sebagai acuan dalam analisis tahap selanjutnya. Salah satu metode yang digunakan untuk mengetahui frekuensi dari sebuah sinyal adalah dengan menggunakan transformasi fourier.

Transformasi fourier bertujuan untuk mengubah sinyal suara yang berdomain waktu ke dalam domain frekuensi. Hasil dari transformasi fourier adalah spektrum frekuensi. Spektrum frekuensi menyatakan komposisi susunan frekuensi dari suatu sinyal. Spektrum frekuensi kemudian digunakan untuk keperluan pemrosesan sinyal. Persamaan transformasi fourier dapat dilihat pada persamaan,

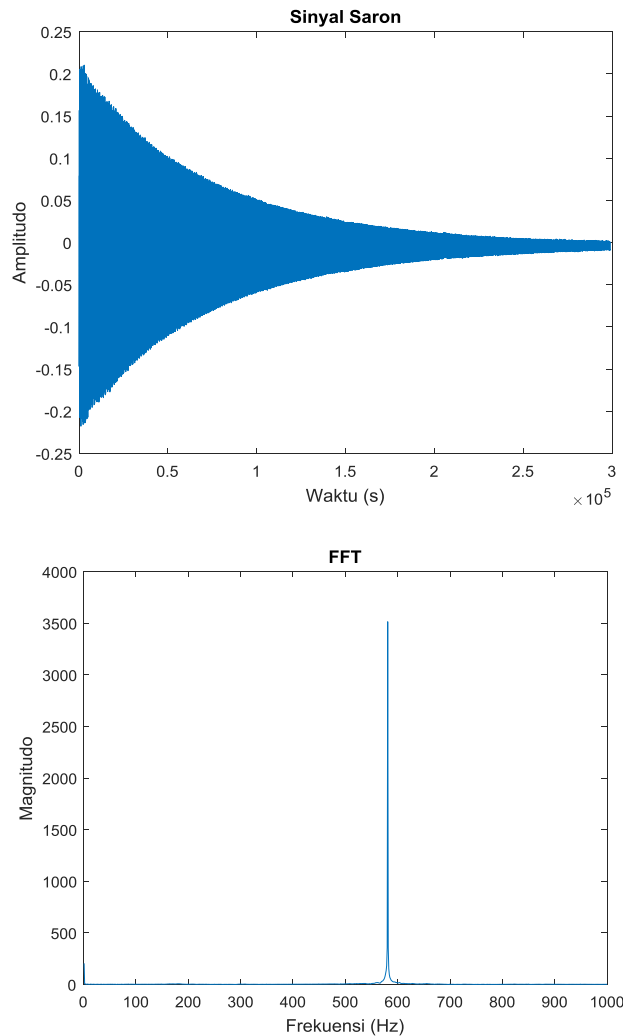
$$FT(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t).e^{-j\omega t} dt \quad (2.13)$$

Dimana : $FT(\omega)$ adalah fungsi dalam domain frekuensi, ω adalah frekuensi radial, $x(t)$ adalah sinyal masukan dari transformasi fourier dengan t adalah satuan waktu (detik).

FFT atau *Fast Fourier Transform* adalah metode yang digunakan untuk mempercepat proses transformasi fourier. Proses FFT dilakukan dengan membagi sinyal kedalam bagian-bagian kecil. Bagian-bagian kecil tersebut selanjutnya dilakukan transformasi fourier. Pada tahap akhir, hasil masing-masing transformasi fourier digabungkan menjadi satu.

2.2.8 Sinyal Instrumen Gamelan dalam Domain Frekuensi

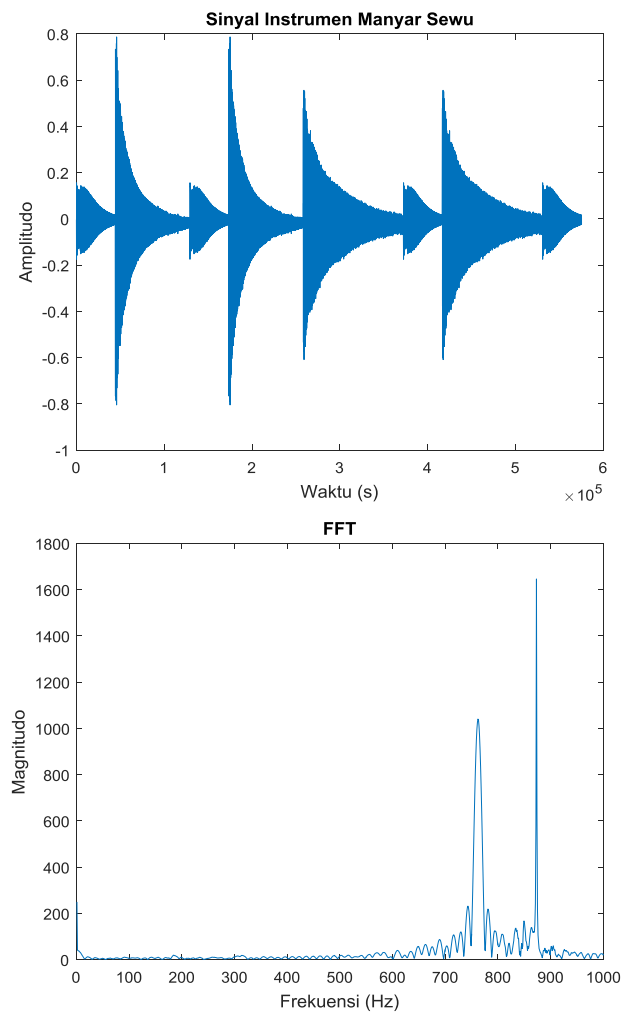
Pada Gambar 2.11 merupakan representasi sinyal dalam domain waktu dan domain frekuensi. Dalam prakteknya, kebanyakan sinyal adalah sinyal domain waktu. Oleh karena itu, apapun sinyal yang diukur adalah fungsi waktu,



Gambar 2.11 Sinyal Saron dalam Domain Waktu dan Domain Frekuensi

dimana ketika diplot salah satu sumbu dengan variable waktu maka variable lainnya adalah amplitude. Ketika diplot, sinyal domain waktu berupa gelombang berjalan yang direpresentasikan pada waktu terhadap amplitudo dari sinyal. Amplitudo pada sinyal domain waktu menunjukkan keras lemahnya sinyal yang diterima. Sehingga, sinyal yang diterima tidak memiliki karakteristik yang berbeda tiap waktunya. Salah satu proses analisa di dalam domain frekuensi bisa dilakukan dengan cara menghitung frekuensi dari suatu sinyal, dalam hal ini bisa memanfaatkan bentuk waktu diskrit dari analisa Fourier dapat digunakan, yang kemudian lebih disempurnakan dengan suatu algoritma yang kita kenal sebagai Fast Fourier transform (FFT). Secara umum teknik ini merupakan pendekatan yang terbaik untuk transformasi. Gambar 2.12 merupakan hasil dari sinyal

instrumen manyar sewu dalam domain waktu kemudian diproses menggunakan FFT. Gambar 2.12 terlihat bahwa terdapat dua puncak magnitudo pada frekuensi lebih 700 Hz dan 800 Hz. Jadi untuk frekuensi domain sinyal instrumen manyar sewu diambil magnitude yang tinggi yaitu pada frekuensi lebih 800 Hz.



Gambar 2.12 Sinyal Instrumen Manyar Sewu dalam Domain Waktu dan Domain Frekuensi

2.2.9 Adaptif Filter

Filter adalah suatu subsistem yang dapat menekan (idealnya, menghilangkan) pita frekuensi tertentu dalam suatu spektrum. Berdasarkan pita frekuensinya, ada 4 jenis filter, yaitu: Low Pass Filter, High Pass Filter, Band Pass Filter dan Band Reject Filter. Berdasarkan jenis sinyal yang diproses, ada 2 jenis

filter, yaitu: Filter Analog dan Filter Digital. Beberapa penerapan filter digital pada pengolahan sinyal digital adalah:

- a. Sebagai antialiasing dan menghilangkan pseudoimages pada multirate processing
- b. Sebagai noise reduction pada sistem kontrol digital
- c. Sebagai matched filtering pada sistem komunikasi digital
- d. Digunakan untuk Image Processing
- e. Untuk clock recovery pada sistem komunikasi data
- f. Sebagai osilator digital.

Beberapa keunggulan filter digital adalah:

- a. Daerah kerja yang lebar (dapat untuk frekuensi rendah maupun tinggi) dengan mengatur frekuensi pencuplikan. Bahkan dapat digunakan pada daerah Very Low Frequency, dimana filter analog sulit diterapkan pada daerah frekuensi ini, sehingga dapat digunakan untuk aplikasi-aplikasi elektronika biomedis
- b. Dapat memberikan respon fasa yang benar-benar linier
- c. Karena implementasi filter digital dapat dengan menggunakan programmable processor, maka respon frekuensi dapat diubah secara otomatis
- d. Beberapa sinyal masukan (beberapa channel) dapat difilter dengan satu filter digital tanpa penggandaan hardware untuk masing-masing channel
- e. Data sinyal masukan dan keluaran dapat disimpan untuk keperluan selanjutnya
- f. Dengan berkembangnya teknologi dan fabrikasi chip VLSI, konsumsi daya listrik filter digital semakin kecil dan dapat menekan biaya produksi

Dengan beberapa keunggulan filter digital, bukan berarti tidak ada kelemahan.

Beberapa kelemahan filter digital adalah:

- a. Keterbatasan kecepatan. Karena paling sedikit mengalami 2 kali proses, .analog ke digital dan sebaliknya, maka secara real time prosesnya lebih lambat dibandingkan dengan filter analog.
- b. Efek Finite Wordlength. Karena jumlah bit dalam satu lword sudah tertentu (tergantung jenis prosesor), maka setiap terjadi pemotongan angka

dalam proses, baik proses kuantisasi analog ke digital. maupun proses perhitungan, akan menyebabkan noise.

- c. Waktu yang dibutuhkan untuk desain (terutama secara hardware) lebih lama, karena perhitungan matematisnya lebih kompleks

Secara garis besar, filter digital diklasifikasikan menjadi 2 jenis, yaitu *Finite Impulse Response Filter* atau yang biasa disebut filter nonrekursif dan *Infinite Impulse Response Filter* atau yang biasa disebut filter rekursif. Pemilihan jenis filter yang akan digunakan, filter rekursif ataukah filter nonrekursif, tergantung dari kebutuhan dan beberapa pertimbangan lain secara kompromis. Berikut ini adalah beberapa feature kedua jenis filter tersebut sebagai bahan pertimbangan:

- a. Filter nonrekursif dapat memberikan respon fasa yang benar-benar linier.
- b. Karena tidak ada umpan balik, maka filter nonrekursif akan selalu stabil.
- c. Jumlah koefisien filter nonrekursif lebih banyak dibandingkan dengan filter rekursif untuk ketajaman cut-off yang sama.
- d. Filter analog lebih mudah ditransformasikan ke dalam filter rekursif karena mempunyai spesifikasi yang mirip, dimana filter nonrekursif tidak mempunyai counterpart dengan filter analog.

Adaptif otomatis adalah sistem yang strukturnya dapat berubah atau disesuaikan dengan karakteristik atau hasilnya (berdasarkan pada kriteria yang diinginkan) untuk diperbaiki melalui lingkungannya. Sistem adaptif biasanya mempunyai karakteristik berikut ini :

- 1. Dapat berubah secara otomatis dalam menghadapi perubahan lingkungan (nonstationer) dan perubahan sistem.
- 2. Dapat dilatih untuk melakukan penyaringan khusus dan tugas pengambilan keputusan. Sintesis dari sistem mempunyai kemampuan untuk menjadi pandai seperti dapat diprogram dengan proses pelatihan. Karena sistem adaptif tidak membutuhkan prosedur sintesa yang rumit yang biasanya dibutuhkan pada sistem non-adaptif.
- 3. Sistem adaptif tidak membutuhkan cara sintesis rumit yang biasanya dibutuhkan sistem non adaptif. Meskipun begitu, sistem adaptif cenderung untuk “mampu mendesain sendiri”.

4. Dapat memperkirakan suatu model karakteristik agar sesuai dengan keadaan baru setelah dilatih oleh sejumlah kecil pelatihan sinyal atau pola.
5. Apabila panjangnya terbatas, sistem adaptif dapat memperbaiki diri sendiri, yaitu beradaptasi di sekitar jenis tertentu dari kesalahan internal.
6. Sistem adaptif biasanya dideskripsikan sebagai sistem non-linier dengan parameter timevarying.
7. Lebih kompleks dan sukar untuk menganalisis dibanding dengan sistem non adaptif, tetapi menawarkan kemungkinan tentang pencapaian sistem yang dapat ditingkatkan kinerjanya saat karakteristik sinyal input tidak dikenal atau time varying.

Filter adaptif diperlukan untuk beberapa aplikasi karena beberapa parameter operasi pengolahan yang diinginkan tidak dikenal dimuka atau berubah. Loop filter adaptif tertutup menggunakan umpan balik dalam bentuk sinyal kesalahan untuk memperbaiki fungsi transfer.

Perkembangan yang terjadi pada sistem adaptif sedemikian pesat. Terdapat berbagai macam jenis algoritma yang digolongkan sebagai sistem adaptif. Algoritma-algoritma seperti *neural network (perceptron, adaline, madaline, backpropagation, dll)* dan *adaptive filtering* digolongkan sebagai suatu sistem adaptif.

2.2.10 Finite Impulse Response (FIR)

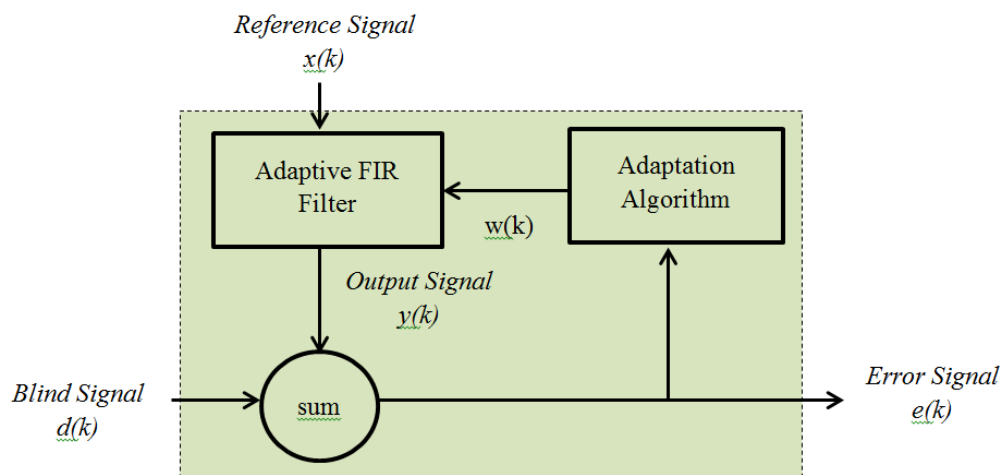
Respon Impuls FIR adalah terbatas karena tidak ada umpan balik pada filter. Kesalahan numerik terjadi ketika implementasi filter FIR dalam perhitungan komputer terjadi terpisah dengan masing-masing perhitungan, filter FIR tidak `mengingat` kesalahan terdahulu.

Sebaliknya, bagian umpan balik filter IIR dapat menyebabkan kesalahan numerik campuran dengan perhitungan masing-masing karena kesalahan numerik umpan balik. Dampak dari hal ini adalah filter FIR diimplementasikan secara umum daripada filter IIR.

2.2.11 Least Mean Square (LMS)

Filter dalam pemrosesan sinyal adalah proses untuk menghilangkan sinyal penyusun yang tidak diinginkan tanpa merusak sinyal yang diinginkan. Filter adaptif adalah system linear dengan penyaring yang memiliki fungsi transfer control oleh parameter variable dan sarana untuk menyesuaikan parameter menurut algoritma optimasi. Karena kompleksitas dari algoritma optimasi kebanyakan filter adaptif adalah filter digital.

Operasi pada algoritma filter adaptif terdapat dua proses yaitu : proses pemfilteran yang direncanakan untuk menghasilkan keluaran guna memberikan tanggapan barisan masukan dan proses adaptif yang bertujuan untuk memberikan mekanisasi pengatur adaptif guna mengatur parameter yang digunakan dalam pemfilteran. Dua proses ini bekerja saling berkaitan satu sama lain (Bilcu, 2004). Diagram filter adaptif dapat dilihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Diagram Filter Adaptif (Bilcu, 2004)

Blind signal $d(k)$ diberikan pada salah satu input sistem. Selain itu, terdapat input lain yang berupa *reference signal* $x(k)$. Sinyal $x(k)$ selanjutnya akan difilter sehingga menghasilkan *output signal* $y(k)$. Setelah melalui proses filter ini diharapkan sinyal $x(k)$ dapat menjadi sinyal $y(k)$ yang mirip dengan sinyal $d(k)$. Selanjutnya sinyal $d(k)$ difilter terhadap sinyal $y(k)$ akan diperoleh *error signal* $e(k)$. Sinyal $e(k)$ digunakan untuk memperbaiki nilai $w(k)$ yang difilter menggunakan algoritma adaptif. $w(k)$ ini adalah parameter filter yang nilainya

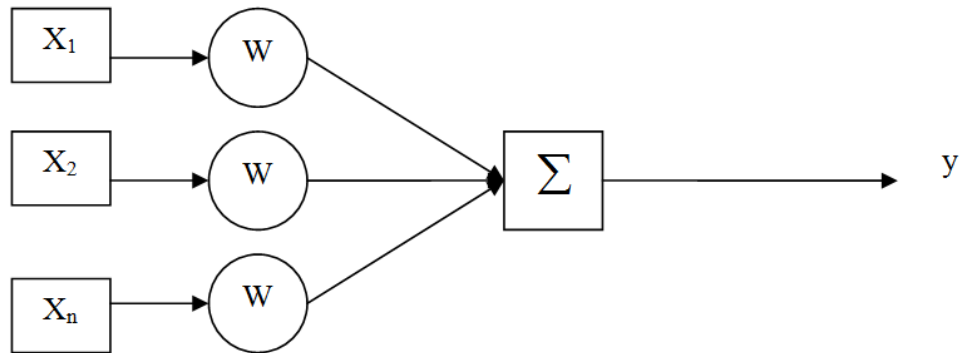
terus berubah menyesuaikan nilai $e(k)$. Jika sistem ini dilakukan berulang-ulang maka akan dihasilkan $e(k)$ yang mendekati nol.

Namun demikian sebagai pengenalan terhadap sistem adaptif akan dibahas lebih jauh mengenai metode Widrow LMS (Least Mean Square), yang merupakan salah satu metode *adaptive filtering* yang umum digunakan karena kecepatan dan kesederhanaannya.

Algoritma LMS filter berbeda dengan *fixed point filter*. Algoritma LMS merancang system linier adaptif yang merespons perubahan lingkungannya saat beroperasi. Jaringan linier yang disesuaikan pada setiap langkah waktu berdasarkan masukan dan vektor target baru dapat menemukan bobot dan bias yang meminimalkan *Mean Square Error* (MSE) untuk masukan dan vektor target terkini. Jaringan semacam ini sering digunakan dalam pembatalan kesalahan, pemrosesan sinyal, dan sistem control.

Algoritma *Least Mean Square* (LMS) merupakan algoritma yang sangat populer dan sangat sederhana serta dapat digunakan untuk beberapa aplikasi pemrosesan sinyal, antara lain masalah penghapusan derau, gema, dan interferensi. Penelitian ini menggunakan metode algoritma *Least Mean Square* (LMS) untuk Filter Finite Impulse Response (FIR). Algoritma *Least Mean Square* (LMS) seringkali digunakan untuk beberapa aplikasi yang berbeda pada pemrosesan sinyal adaptif. Ada beberapa alasan yang mendasari hal tersebut, antara lain: komputasi yang mudah dan sederhana, tidak ada pengulangan data, dan tanpa peramalan gradien.

Algoritma *Least Mean Square* (LMS) ini termasuk algoritma yang menggunakan operator gradien dalam proses adaptasinya. Proses adaptasi dari tap-weight (bobot koefisien filter) ini berlangsung secara rekursif, dimulai dengan suatu nilai awal (*initial value*). Oleh karena itu hasil yang diperoleh akan semakin baik bila jumlah iterasinya semakin besar. Hasil akhir yang diharapkan dari proses iterasi ini ialah suatu nilai yang konvergen terhadap solusi dari metode filter Wiener. LMS menggunakan suatu struktur yang disebut adaptive linear combiner yang ditunjukkan Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Adaptive Linear Combiner

Struktur diatas menyatakan bahwa keluaran sistem adaptif adalah gabungan dari masukan dengan bobot masing-masing (w_n).

$$Y = X_1 W_1 + X_2 W_2 + \dots + X_n W_n \quad (2.14)$$

Algoritma LMS dapat disimpulkan sebagai berikut :

- a. Output filter : $y(n) = w(n) x(n)$
- b. Error estimasi: $e(n) = d(n) - y(n)$
- c. Adaptasi tap - weight : $w(n+1) = w(n) + \mu d(n)e(n)$

Estimasi gradien dengan metode LMS sangat sederhana. Hanya dengan menggunakan error dan masukan saat ini maka kita dapat memperoleh gradien(kemiringan) yang digunakan untuk menyesuaikan bobot-bobot pada sistem adaptif.

2.2.12 Pendeteksian Sinyal Kembar

Dalam ansambel Gamelan, kita memiliki beberapa fitur gramatikal dan fitur sinyal. Fitur gramatikal berbicara tentang bagaimana memainkan musik seperti tempo, notasi musik, jenis musik, jenis instrumen yang dimainkan, dan fitur sinyal adalah karakteristik sinyal seperti timbre, amplitudo sinyal. Selama musik dimainkan, fitur musik, gramatikal dan sinyal, sangat sering diubah oleh konduktor. Tempo bisa berubah lebih cepat setelah musik dimainkan beberapa notasi, dan kembali ke tempo lebih lambat. Sebagai tambahan, cara memainkan alat musik terkadang bervariasi dengan metode lain, demikian juga notasi musik dipukul dua kali atau dengan peraturan lainnya, dll.

2.2.13 Mean Square Error (MSE)

Mean Squared Error (MSE) adalah metode lain untuk mengevaluasi metode peramalan. Masing-masing kesalahan atau sisa dikuadratkan. Kemudian dijumlahkan dan ditambahkan dengan jumlah observasi. Pendekatan ini mengatur kesalahan peramalan yang besar karena kesalahan-kesalahan itu dikuadratkan. Metode itu menghasilkan kesalahan-kesalahan sedang yang kemungkinan lebih baik untuk kesalahan kecil, tetapi kadang menghasilkan perbedaan yang besar. Kuadrat dari selisih antara hasil dan nilai sebenarnya disebut dengan *quadratic loss function*. Persamaan MSE ditunjukkan pada persamaan 2.15.

$$MSE = E\left[(\hat{\theta} - \theta)^2\right] \quad (2.15)$$

Quadratic loss function ditunjukkan dengan $(\hat{\theta} - \theta)^2$. MSE akan menghasilkan nilai yang menunjukkan rata-rata error dan dapat dengan mudah membedakan antara satu error dengan error yang lainnya.

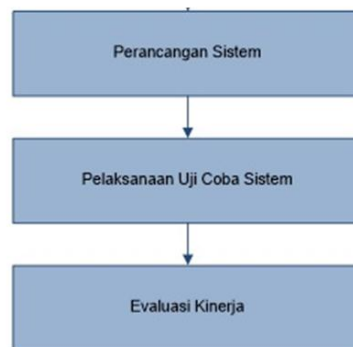
Pada penelitian ini, MSE digunakan untuk menentukan frekuensi dari sinyal input. Sinyal input akan difilter dengan sinyal referensi yang bermacam-macam frekuensi. Jika sinyal input difilter dengan menggunakan sinyal frekuensi tertentu menghasilkan nilai MSE rendah, ini merupakan bahwa sinyal input sama dengan frekuensi sinyal referensi.

Pada penelitian ini, MSE dihitung dengan menghitung nilai rata-rata kuadrat sinyal keluaran. Pada persamaan 2.15, sinyal keluaran mewakili $\hat{\theta}$. Sementara itu θ diwakili oleh nilai 0. Hal ini disebabkan karena ketika filter bekerja dengan baik atau bekerja secara ideal, maka sinyal keluaran filter akan bernilai nol. Sehingga nilai keluaran yang diinginkan (θ) adalah nol.

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini dijelaskan garis besar langkah-langkah penelitian Metodologi penelitian ini disusun agar penelitian fokus pada rencana awal. Metode dalam penelitian ini digambarkan dalam diagram alur penelitian seperti Gambar 3.1:



Gambar 3.1 Tahapan Penelitian

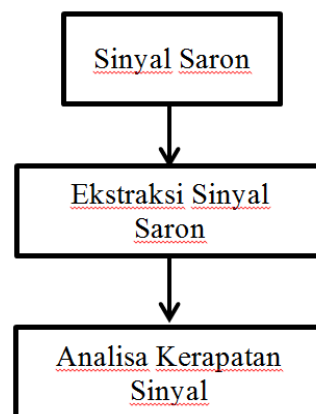
Penelitian ini yaitu tentang deteksi instrument identik menggunakan *Least Mean Square* (LMS), dimana metode ini merancang system linier adaptif yang merespons perubahan pada lingkungannya saat beroperasi. Tahap pertama yang dilakukan adalah pengambilan data yang bersumber dari perangkat instrument Gamelan yang ada di Elektro Budoyo ITS. Instrumen Gamelan yang digunakan pada penelitian ini adalah saron. Karena nada-nada dari set Gamelan diciptakan dengan frekuensi dasar berbeda-beda sehingga nantinya Gamelan akan memiliki nada dasar yang bervariasi, maka tahap selanjutnya adalah proses analisis *Fast Fourier Transform* (FFT) yang digunakan untuk mengetahui frekuensi dasar saron yang digunakan sebagai data penelitian, yang kemudian frekuensi dasar ini bisa digunakan sebagai acuan pada sinyal referensi yang merupakan sinyal sintetik.

Tahap selanjutnya adalah pendeteksian sinyal kembar Gamelan menggunakan *Least Mean Square* (LMS). *Least Mean Square* (LMS) digunakan untuk mendeteksi sinyal kembar dari ansambel Gamelan yang akan menghasilkan sinyal keluaran. Untuk mengoptimalkan kinerja dari system maka dilakukan optimasi dengan menganalisa parameter-parameter yang berpengaruh pada

system. Seperti kerapatan sinyal dan rentang frekuensi yang digunakan. Selanjutnya dari analisa tersebut, didapatkan nilai terbaik. Nilai terbaik yang dimaksud adalah yang mempunyai nilai *Mean Square Error* (MSE) terendah. Pengujian dilakukan untuk menganalisa seberapa ampuh metode adaptif LMS untuk pendeteksian sinyal kembar. Sehingga parameter-parameter tersebut bisa dijadikan variable control untuk mengoptimalkan kinerja system.

3.1 Perancangan Sistem

Dalam penelitian ini, alur kerja sistem ditunjukkan pada Gambar 3.2. Perancangan sistem ini terdiri dari 3 tahapan. Pertama, sinyal masukan yang berupa instrumen identik. Instrumen yang dimasukkan pada penelitian ini adalah Saron. Kedua, ekstraksi sinyal Saron sehingga tahap selanjutnya bisa dilakukan analisa kerapatan sinyal.

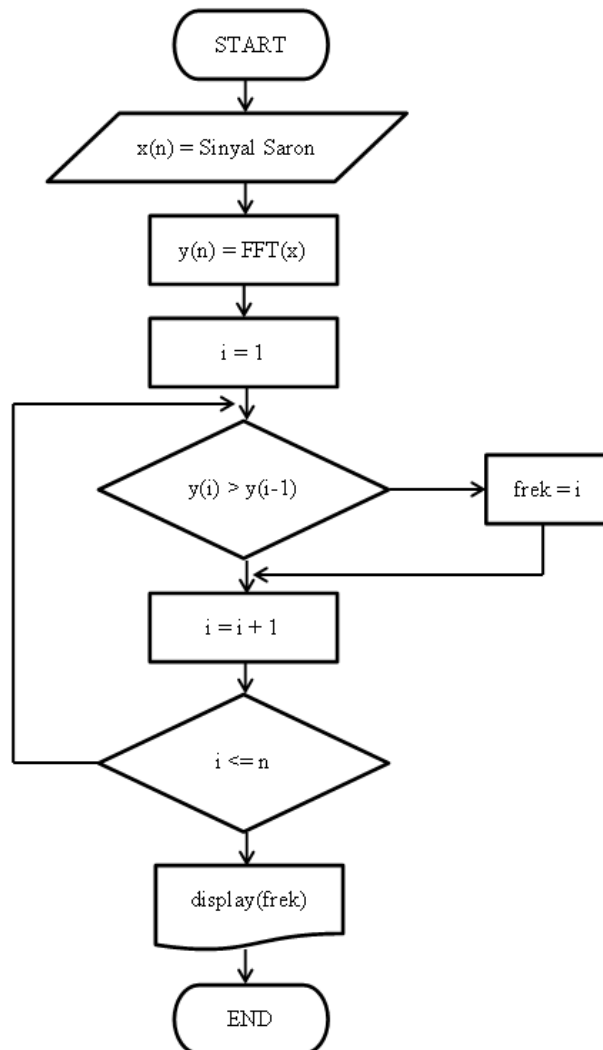


Gambar 3.2 Metodologi Penelitian

3.1.1 Sinyal Saron

Sinyal masukan yang digunakan pada penelitian ini adalah sinyal saron. Saron merupakan instrumen Gamelan berbentuk bilahan dengan enam atau tujuh bilah yang terbuat dari perunggu atau kuningan yang ditumpangkan pada bingkai kayu yang juga berfungsi sebagai resonator. Saron muncul dengan berbagai ukuran tergantung tinggi rendahnya nada dan masing-masing memiliki antara 6 hingga 9 bilah. Masing-masing perangkat Gamelan memiliki karakteristik yang berbeda. Analisis terhadap sinyal saron yang digunakan perlu dilakukan, karena

nada-nada dari set Gamelan diciptakan dengan frekuensi dasar berbeda-beda sehingga nantinya Gamelan akan memiliki nada dasar yang bervariasi, maka tahap selanjutnya adalah proses analisis *Fast Fourier Transform* (FFT). Analisa *Fourier* dilakukan untuk mengetahui frekuensi-frekuensi sinyal yang membentuk gelombang tersebut. Setelah dilakukan analisa maka didapatkan grafik frekuensi. Dari grafik tersebut dapat diketahui nilai-nilai frekuensi yang membentuk gelombang. *Fast Fourier Transform* (FFT) digunakan untuk mengetahui frekuensi dasar saron yang digunakan sebagai data penelitian, yang kemudian frekuensi dasar ini bisa digunakan sebagai acuan pada sinyal referensi yang merupakan sinyal sintetik. Frekuensi sinyal ini akan menjadi acuan dalam memastikan perangkat yang dibunyikan. Proses FFT bisa dilihat pada Gambar 3.3.

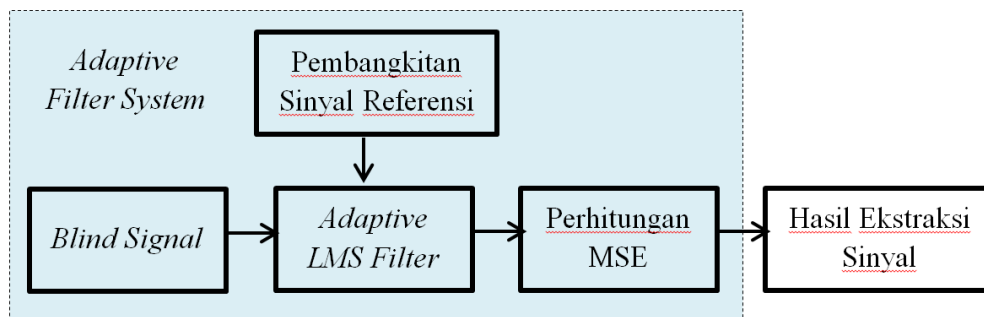


Gambar 3.3 Proses FFT

Jadi, perlu dilakukan perekaman untuk setiap nada pada masing-masing set saron yang akan digunakan. Analisis FFT dilakukan dengan sinyal saron yang akan menjadi model, dilakukan transformasi sinyal untuk mengetahui frekuensi dasar. FFT dilakukan dengan menggunakan window sebesar panjang sinyal. Hal itu dilakukan agar frekuensi yang didapatkan mempunyai ketelitian yang tinggi dan bisa sesuai dengan frekuensi yang sebenarnya. Hasil akhirnya, akan didapatkan tabel frekuensi dasar. Tabel frekuensi dasar adalah kumpulan data frekuensi nada-nada saron yang telah diketahui setelah proses analisis FFT. Selanjutnya, tabel frekuensi dasar ini digunakan untuk analisis hasil system.

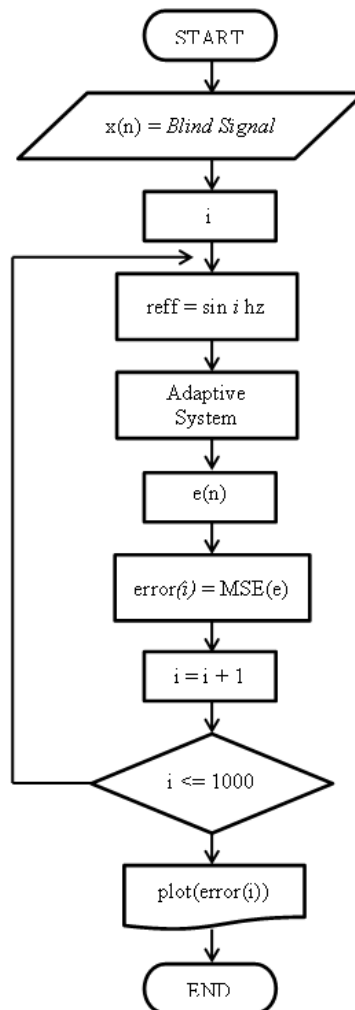
3.1.2 Pendeteksian Sinyal Kembar

Pada penelitian ini, pendeteksian sinyal kembar dilakukan menggunakan metode *Least Mean Square* (LMS). Proses pendeteksian sinyal kembar ini menggunakan metode *Least Mean Square* (LMS) bisa dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Blok Diagram Proses Ekstraksi Notasi Musik Menggunakan LMS

Pada blok diagram tersebut terdapat *blind signal* yang merupakan adalah sinyal yang akan dianalisis. Pada penelitian ini, *blind signal* adalah instrument music sinyal saron. *Blind Signal* ini bisa berupa satu nada atau lebih sinyal saron, artinya *blind signal* ini adalah sinyal identic yang akan dideteksi. Sinyal saron yang digunakan ini berupa rekaman file.wav yang memiliki *fs* sebesar 48000. Selain *blind signal* juga terdapat sinyal referensi. Pembangkitan sinyal referensi menggunakan sinyal sinus frekuensi tertentu. Penentuan nilai frekuensi dilakukan untuk mengetahui pengaruh sinyal referensi pada proses deteksi ini.



Gambar 3.5 Proses Ekstraksi Notasi Musik

Dari diagram terlihat bahwa sinyal referensi dibangkitkan dari frekuensi n Hz sampai N Hz. Nilai dari frekuensi ini adalah 500 Hz sampai 1000 Hz. Penentuan nilai frekuensi tersebut berdasarkan kemungkinan nilai frekuensi dari saron slendro berada pada rentang nilai tersebut. Setelah itu sinyal diproses menggunakan filter adaptif LMS, pada bagian ini dilakukan proses filter antara *blind signal* dengan sinyal referensi. Proses filter ini mengacu pada gambar 3.4. Pada proses ini sinyal input diisi dengan sinyal referensi, sementara *desired signal* diisi dengan *blind signal*. Secara konsep aplikasi bisa dilihat sesuai dengan diagram pada Gambar 3.5.

Setelah proses pendeteksian sinyal kembar berhasil dilakukan, kemudian tahap selanjutnya adalah dilakukan analisis untuk optimalisasi kinerja system

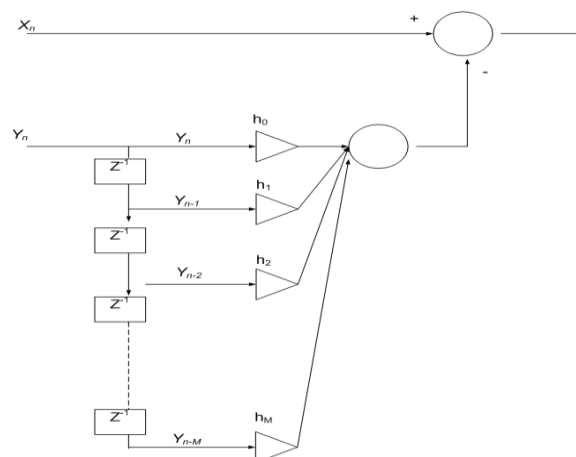
dengan memperhatikan parameter-parameter yang berpengaruh pada system. Caranya dengan melakukan perhitungan kesalahan Perhitungan *error* dilakukan dengan menghitung rata-rata absolut sinyal keluaran atau bisa disebut dengan *mean square error*. Scanning dilakukan dari frkuensi 500 Hz sampai 1000 Hz yang merupakan rentang frekuensi dari saron. Maka akan didapat kumpulan data kesalahan dari filter. Diantara data tersebut dapat diketahui magnitude MSE terendah. Frekuensi dari magnitude terendah inilah yang menunjukkan frekuensi dari *blind signal*. Analisis beberapa parameter yang mempengaruhi hasil dari adaptif LMS filter, yaitu pengaruh *step size* (μ), sinyal referensi dan iterasi. Parameter-parameter tersebut dicari yang menghasilkan nilai terbaik. Kemudian, parameter-parameter tersebut dijadikan variable control untuk mengoptimalkan kinerja dari system yang mempunyai nilai MSE terendah.

3.2 Pengujian Sistem

Pengujian system dilakukan untuk menguji system yang diusulkan. Pada penelitian deteksi instrument identik menggunakan *Least Mean Square* ini salah satunya mengukur pengaruh parameter-parameter yang mempengaruhi kinerja system. Parameter-parameter tersebut adalah :

1. *step size* (μ)

Pemilihan *step size* dan filter length sangat menentukan filter yang akan mempengaruhi stabilitas dan kecepatan konvergensi.



Gambar 3.6 Wiener Filter

$$Y_n = \sum_{m=0}^M h_m Y_{n-m} \quad (3.1)$$

$$= h_0 Y_n + h_1 Y_{n-1} + h_2 Y_{n-2} + \dots h_m Y_{n-m} \quad (3.2)$$

$$e_n = x_n - \hat{y}_n \quad (3.3)$$

$$\xi = E[e_n^2] = \text{minimum} \quad (3.4)$$

Minimum ketika

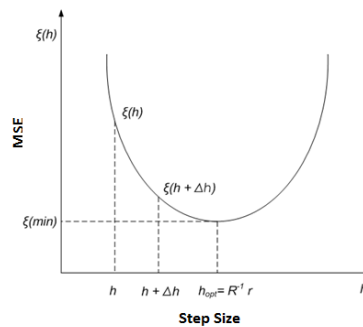
$$\frac{\partial \xi(h)}{\partial(h)} = -2r + 2Rh = 0 \quad (3.5)$$

$$h(n+1) = h(n) + \Delta h(n) \quad (3.6)$$

$$= h(n) + \mu \frac{\partial \xi(h)}{\partial(h)} \quad (3.7)$$

$$= h(n) + 2\mu e_n y_n \quad (3.8)$$

Dari persamaan 3.8 dapat direpresentasikan sebuah grafik yang terlihat pada Gambar 3.7 yang menggambarkan pengaruh *step size* dengan *error*.



Gambar 3.7 Hubungan Step Size dengan Error

Pengujian dilakukan untuk menyesuaikan antara teori dengan prakteknya.

2. Sinyal referensi

Sinyal referensi ini adalah sinyal yang akan difilter sehingga menjadi mirip dengan sinyal dari alat usik yang sebenarnya. Ketika hasil sinyal filter mirip dengan sinyal asli, maka dihitung selisih

kedua sinyal yang disebut dengan *error*. Semakin kecil kesalahan akan menunjukkan bahwa sinyal input semakin mendekati sinyal yang sebenarnya. Dengan begitu, frekuensi sinyal input dapat diketahui yaitu sama dengan sinyal referensi yang dibangkitkan. Pengujian ini dilakukan untuk melihat seberapa berpengaruh sinyal referensi terhadap sistem.

3. Iterasi

Pengujian dilakukan dengan memberi masukan iterasi antara 10 hingga 100.

Pengujian selanjutnya adalah pengujian mengenai deteksi instrumen identik yang akan lebih jelas diterangkan pada bab 4.

3.3 Evaluasi

Evaluasi pada metodologi penelitian digunakan untuk mengukur kinerja hasil sistem yang diusulkan. Sehingga untuk penelitian mendatang diharapkan lebih baik lagi dari penelitian sebelumnya.

Evaluasi pada metodologi penelitian digunakan untuk mengukur kinerja dari hasil sistem penelitian ini. Metode yang digunakan dalam evaluasi yaitu *mean square error* (MSE). Persamaan MSE seperti pada Persamaan 2.15. Evaluasi pada proses deteksi instrumen identik ini dilakukan dengan membandingkan sinyal input dan sinyal output. Selisih dari sinyal input dan output ini disebut error.

Ada beberapa parameter filter adaptif LMS yang akan dievaluasi seperti step size, panjang sinyal, sinyal referensi, iterasi, toleransi frekuensi sintetik, dan toleransi jarak. Beberapa parameter tersebut akan dicari nilai MSE yang terendah sehingga menghasilkan proses deteksi instrumen identik yang maksimal.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini, penulis melakukan pengujian sistem yang diusulkan pada instrumen identik menggunakan least mean square (LMS). Tujuan dari pengujian ini untuk menyelesaikan permasalahan dan tujuan yang telah diuraikan pada BAB I. Pengujian juga dilakukan untuk mengetahui performa dari sistem. Penjelasan mengenai tahapan pengujian akan dijelaskan lebih detail pada sub paragraf.

4.1 Sinyal Masukan

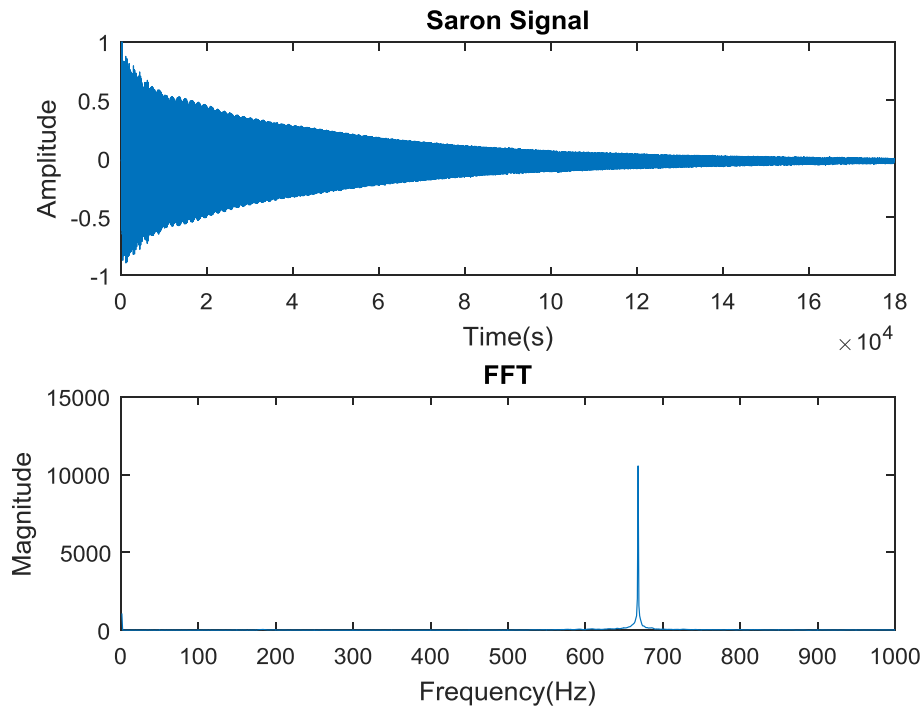
Pengujian dilakukan terhadap sinyal masukan yang terdiri dari satu atau lebih nada. Sinyal masukan yang terdiri lebih dari satu nada, adalah sinyal gabungan dari dua sinyal yang digabung secara alami yang telah ditentukan terlebih dahulu. Sinyal suara perangkat Gamelan yang digunakan sebagai bahan uji merupakan instrumen Gamelan dari keluarga balungan yaitu saron dengan nada slendro. Dalam sistem yang diimplementasikan, sinyal masukan ini dianggap sebagai *blind signal*.

4.2 Analisa Elemen Sinyal

Setiap perangkat Gamelan memiliki frekuensi nada dasar yang berbeda-beda. Dalam pembuatan perangkat Gamelan, penentuan frekuensi hanya mengandalkan indera pendengaran dari sang pembuat sehingga setiap perangkat Gamelan mempunyai frekuensi nada dasar yang berbeda-beda. Oleh karena itu, identifikasi frekuensi nada dasar perangkat Gamelan yang akan diuji perlu dilakukan sebagai acuan. Hal ini bertujuan agar diperoleh data yang dapat menjadi acuan pada analisis nada dan perangkat dari system yang diuji pada penelitian ini.

Tabel frekuensi diperoleh dari transformasi FFT dari setiap nada pada perangkat uji. Setelah frekuensi masing-masing nada diketahui, data akan dikumpulkan kedalam satu tabel. Gambar 4.1 menunjukkan hasil proses

menemukan frekuensi nada dasar dari salah satu nada dari perangkat Gamelan saron.



Gambar 4.1 Sinyal Saron dan Hasil FFT-nya

Dari Gambar 4.1 dapat diketahui bahwa sinyal saron tersebut memiliki frekuensi 668 Hz. Dari percobaan menggunakan data beberapa saron didapatkan table frekuensi dasar seperti pada Tabel 4.1.

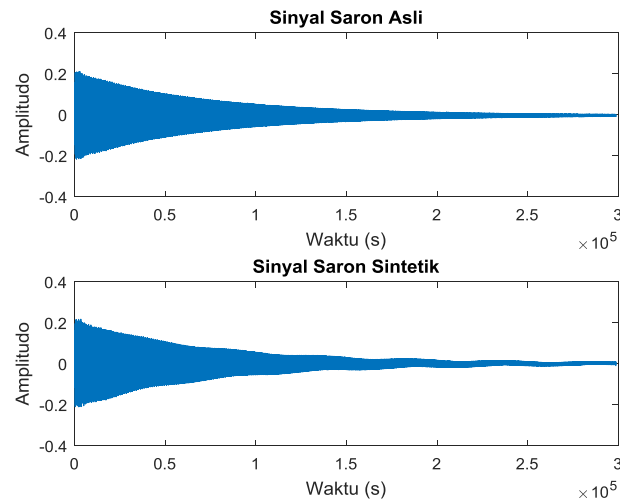
Tabel 4.1 Frekuensi Dasar Sinyal Saron

Nada Slendro	Frekuensi
1	581
2	668
3	763
5	873
6	1013
1'	1168
2'	1348

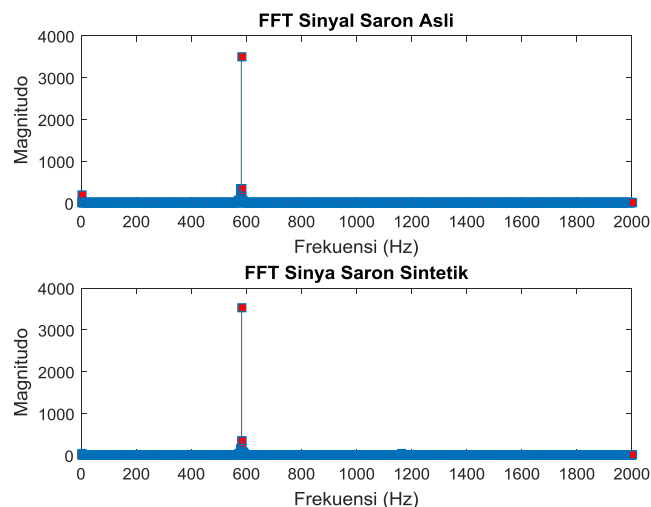
4.3 Sinyal Sintetik

Untuk melakukan sintesa atau rekonstruksi sinyal baru harus diketahui terlebih dahulu informasi mengenai elemen-elemen sinyal. Sinyal sintetik yang mendekati sinyal sebenarnya dapat dibuat berdasarkan acuan informasi dari hasil

analisa yang ditunjukkan pada Gambar 4.2. Analisa *Fourier* dilakukan untuk mengetahui frekuensi-frekuensi sinyal yang membentuk gelombang tersebut.



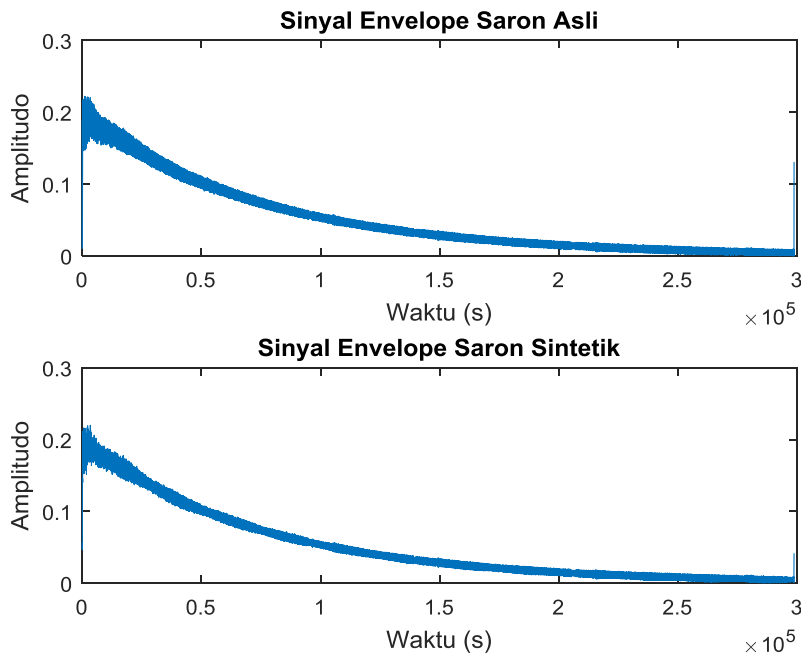
Gambar 4.2 Pembangkitan Sinyal Saron 1 Sintetik



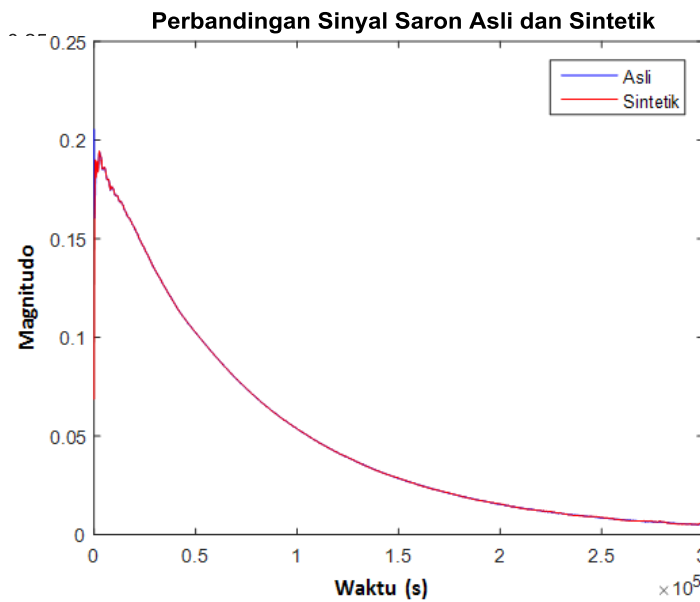
Gambar 4.3 Hasil FFT Sinyal Saron 1

Setelah dilakukan analisa pada Gambar 4.3, maka didapat grafik frekuensi. Dari grafik tersebut dapat diketahui nilai-nilai frekuensi yang membentuk gelombang. Selanjutnya diambil frekuensi yang memiliki magnitudo yang dominan sebagai *carrier* dan diambil beberapa frekuensi yang lain yang memiliki nilai magnitudo tinggi sebagai sinyal harmonisa, kemudian dibuat sinyal sintesa dengan metode Modulasi Amplitudo seperti Gambar 4.4. Setelah sinyal di

sintesa menggunakan Modulasi Amplitudo maka selanjutnya membentuk karakteristik *envelope* dari sinyal tersebut dengan cara menetapkan nilai amplitudo sesuai dengan bentuk yang diinginkan.

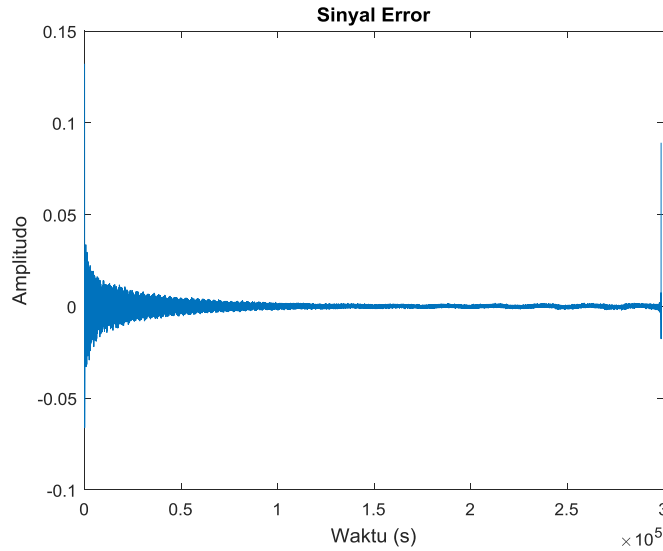


Gambar 4.4 Sinyal Envelope Saron Asli dan Saron Sintetik



Gambar 4.5 Perbandingan Sinyal Envelope Saron Asli dan Saron Sintetik

Jika dibandingkan lewat sinyal envelope seperti pada Gambar 4.5, maka terdapat selisih antara sinyal saron asli dan saron sintetis. Selisih antara keduanya tersebut disebut sebagai error. Sinyal error ditunjukkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Sinyal Error

Selain itu pembangkitan sinyal sintetis juga bisa dilakukan dengan mengikuti aturan dari penelitian lain yang berkaitan dengan *tuner* perangkat Gamelan (Technology, 2015). Sinyal sintetis ini dibentuk dengan membangkitkan sinyal sinusoidal sesuai dengan frekuensi yang diinginkan. Kemudian akan dilakukan modulasi terhadap standar *envelope*. Pembangkitan sinyal sintetis ini dilakukan menggunakan persamaan 4.1.

$$X_p(n) = A * \sin(2 * \phi * \left(\frac{f}{f_s}\right) * x + \theta) * 0.7693e^{-1.03 \times 10^{-5} n} \quad (4.1)$$

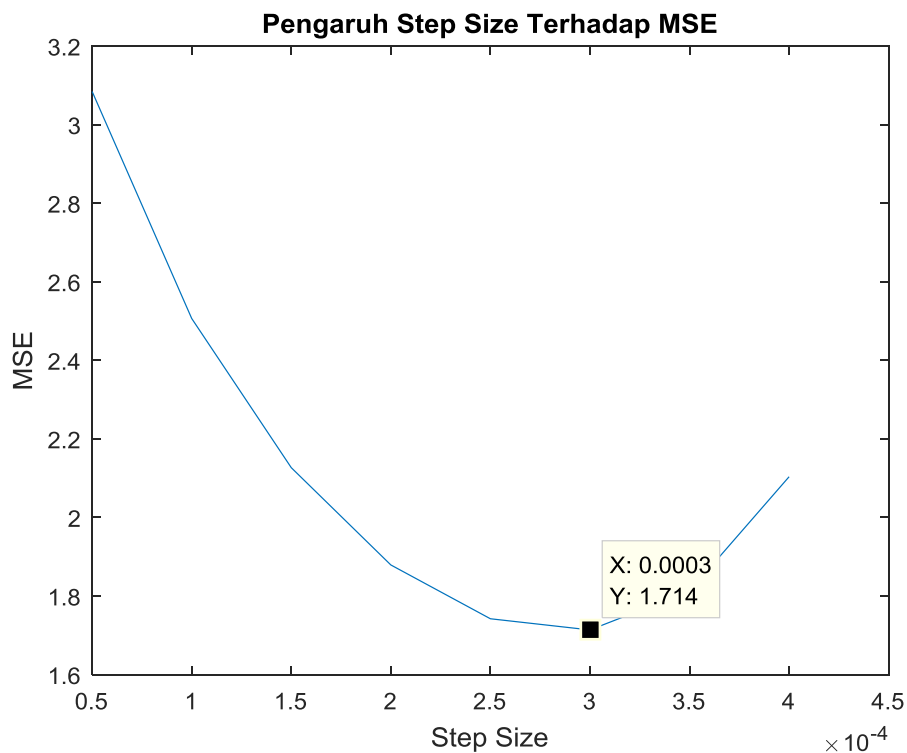
Persamaan 4.1 hanya berlaku untuk Saron. Perbedaan pembangkitan sinyal sintetis saron dengan perangkat Gamelan lain seperti Demung dan Peking adalah faktor pengali. Dimana faktor pengali ini adalah nilai dari peredaman sinyal perangkat Gamelan.

4.4 Pengaruh Parameter Filter Adaptif LMS

Filter adaptif LMS memiliki beberapa parameter yang dapat mempengaruhi kinerjanya. Parameter tersebut adalah *step size* (μ), sinyal referensi dan iterasi. Parameter yang berbeda akan menghasilkan nilai kesalahan yang berbeda. Pada penelitian ini, parameter-parameter tersebut menjadi variabel kontrol.

4.4.1 Pengaruh Step Size (μ)

Pengujian pengaruh step size terhadap hasil filter berdasarkan algoritma pada Gambar 4.7. Uji coba pengaruh step size ini dilakukan dengan memvariasikan nilai μ dari 0.00005 hingga 0.0004. Dengan menggunakan data sinyal saron 1,2,3,5,6,1',2' didapatkan nilai MSE yang berbeda. Dan grafik pengaruh step size pada Gambar merupakan hasil rata-rata. Dari pengujian tersebut didapatkan hasil dimana nilai *step size* 0.0003 adalah yang terbaik karena mempunyai nilai MSE terendah. Dan grafik yang dihasilkan juga sesuai dengan teori yang sudah ada.



Gambar 4.7 Pengaruh Step Size dengan MSE

4.4.2 Pengaruh Panjang Sinyal

Salah satu nilai yang diinputkan dalam proses filter ini adalah panjang sinyal. Panjang sinyal mempengaruhi nilai MSE. Pengujian pada satu nada saron ini dilakukan dengan menggunakan *step size* 0.00005 hingga 0.0004, dan hasil pengujian pengaruh panjang sinyal bisa dilihat pada Tabel 4.2, Tabel 4.3 dan Gambar 4.8.

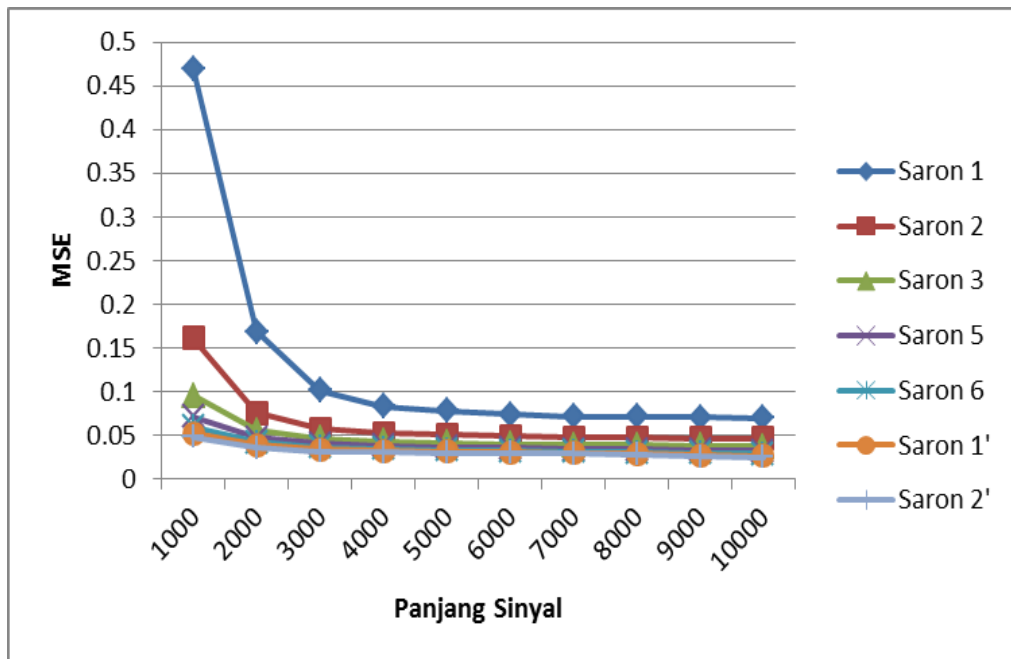
Tabel 4.2 Pengujian Pengaruh Panjang Sinyal 1000-5000

SARON	Panjang Sinyal				
	1000	2000	3000	4000	5000
Saron 1	0.470172	0.168633	0.101365	0.083313	0.077994
Saron 2	0.161471	0.075735	0.057427	0.052417	0.050596
Saron 3	0.095772	0.055548	0.046321	0.043173	0.041652
Saron 5	0.071431	0.047149	0.040666	0.038009	0.03662
Saron 6	0.059578	0.042269	0.036849	0.034532	0.033379
Saron 1'	0.05272	0.03883	0.034006	0.032096	0.031284
Saron 2'	0.048225	0.036151	0.03184	0.03043	0.030066

Tabel 4.3 Pengujian Pengaruh Panjang Sinyal 6000-10000

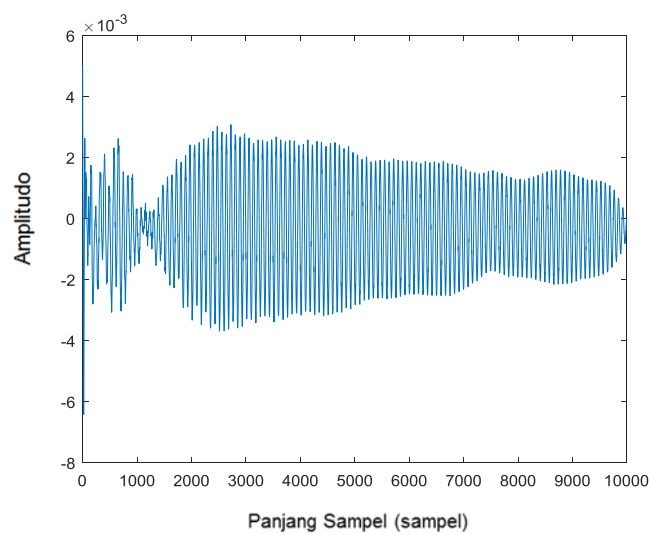
SARON	Panjang Sinyal				
	6000	7000	8000	9000	10000
Saron 1	0.073737	0.071632	0.07117	0.070626	0.070202
Saron 2	0.048833	0.047737	0.04732	0.046908	0.046501
Saron 3	0.040185	0.039165	0.03874	0.03826	0.037702
Saron 5	0.035328	0.034357	0.033959	0.03333	0.032568
Saron 6	0.032283	0.031363	0.030992	0.030079	0.029086
Saron 1'	0.030421	0.029568	0.029206	0.027796	0.02656
Saron 2'	0.029522	0.028793	0.028382	0.02616	0.024685

Dari hasil pengujian, didapatkan nilai MSE mencapai maksimum pada saat *step size* 0.00005 dengan panjang sinyal 1000 yaitu 0.470172. Dan nilai MSE mencapai nilai minimum pada saat *step size* 0.0004 dengan panjang sinyal 10000 yaitu 0.0233659.

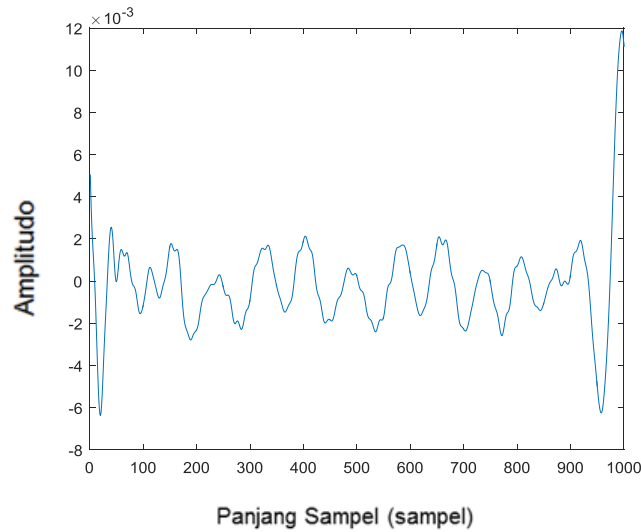


Gambar 4.8 Pengaruh Panjang Sinyal dengan MSE

Panjang sinyal berpengaruh terhadap nilai error. Panjang sinyal berpengaruh juga pada tampilan hasil dimana panjang sinyal mendekati panjang filter maka akan terlihat lebih jelas deteksi gambar sinnyal tersebut, demikian pula sebaliknya, jika panjang sinyal menjauhi panjang filter maka tidak terlalu jelas pendeteksian sinyal kembar. Jadi sebaiknya, parameter panjang sinyal tergantung dengan panjang filter, dengan syarat panjang sinyal > panjang filter > time delay.



Gambar 4.9 Sinyal Koefisien dengan Panjang Window 10000



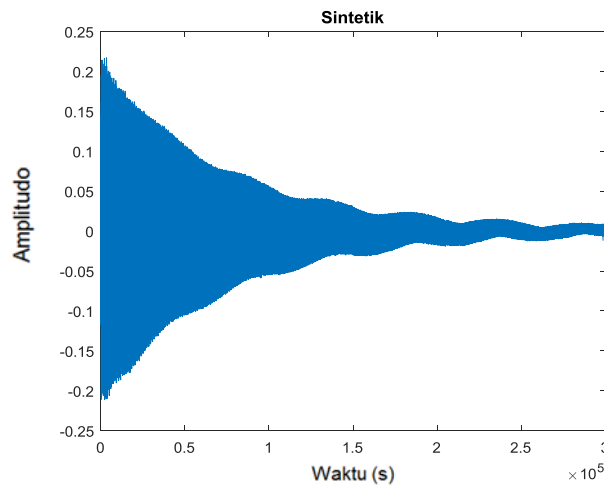
Gambar 4.10 Sinyal Koefisien dengan Panjang Window 1000

Dari Gambar 4.9 terlihat bahwa sinyal saron dapat terlihat dan dianalisa secara optimal karena panjang window tidak kurang dari panjang sinyal, sehingga sinyal bisa dianalisa secara menyeluruh, sedangkan pada Gambar 4.10 terlihat bahwa sinyal saron hanya terlihat sebagian kecil saja sehingga tidak dapat dianalisa secara optimal karena tidak bisa dianalisa secara menyeluruh karena panjang window kurang dari panjang sinyal. Jika menggunakan panjang sinyal 10000 keatas, maka nilai MSE akan konstan, sehingga untuk mencapai hasil yang maksimum dengan durasi komputasi yang rendah, maka digunakan panjang sinyal 10000. Jadi, panjang window harus menyesuaikan terhadap panjang sinyal yang akan diuji.

4.4.3 Pengaruh Sinyal Referensi

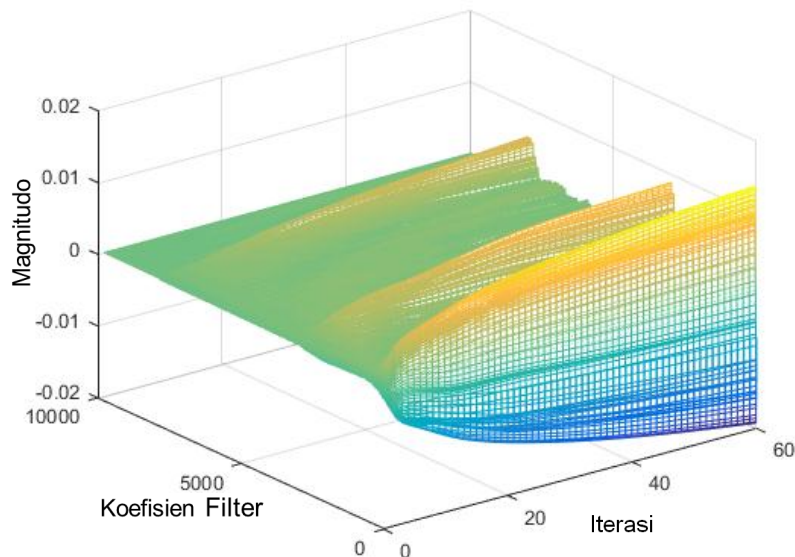
Pada proses filter *least mean square* (LMS) diperlukan sinyal referensi. Sinyal referensi ini adalah sinyal yang akan difilter sehingga menjadi mirip dengan sinyal dari alat musik yang sebenarnya. Ketika hasil sinyal filter mirip dengan sinyal asli, maka dihitung selisih kedua sinyal yang disebut dengan *error*. Semakin kecil kesalahan akan menunjukkan bahwa sinyal input semakin mendekati sinyal yang sebenarnya. Dengan begitu, frekuensi sinyal input dapat diketahui yaitu sama dengan sinyal referensi yang dibangkitkan. Pada percobaan ini dilakukan dua cara pembangkitan sinyal sintetik yaitu dengan modulasi

amplitude dan menggunakan sinyal sinusoidal sesuai dengan persamaan 4.1. Sinyal sintetis yang dihasilkan menggunakan modulasi amplitude seperti pada Gambar 4.11.

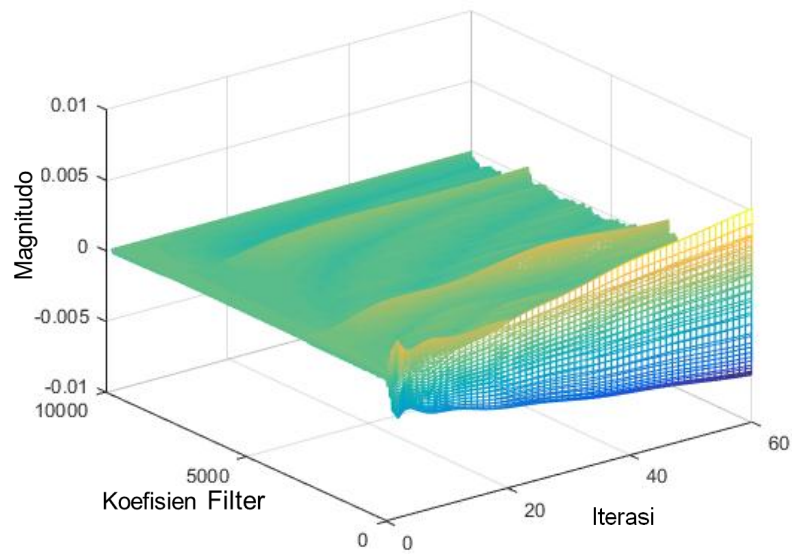


Gambar 4.11 Pembangkitan Sinyal Sintetik

Dan pada Gambar 4.12 merupakan hasil dari deteksi menggunakan sinyal sinus sintetis yang dibangkitkan sesuai persamaan 4.1. Pada Gambar 4.13. merupakan hasil pendeteksian instrumen identic menggunakan sinyal saron. Bisa dilihat perbedaan antara Gambar 4.12 dan Gambar 4.13.



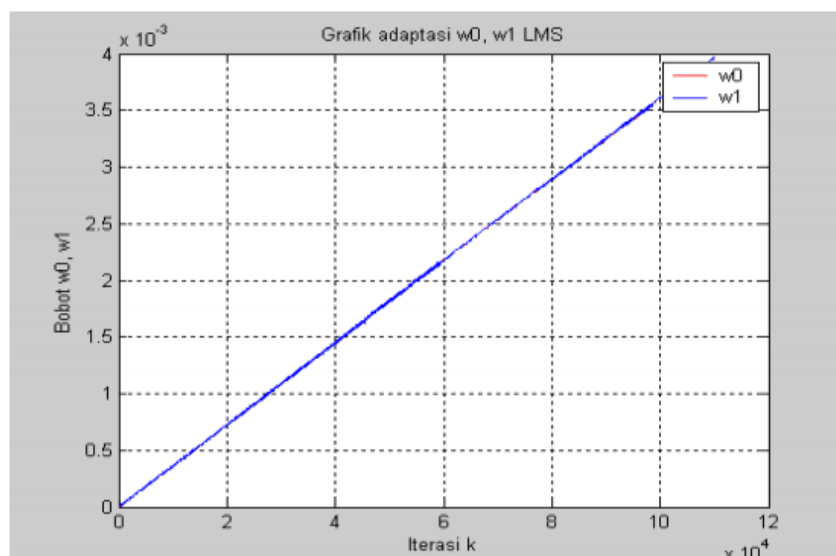
Gambar 4.12 Deteksi Instrumen Identik Menggunakan Sinyal Sinus Sintetik



Gambar 4.13 Hasil Pendeteksian Instrumen Identik Menggunakan Sinyal Saron

Dari pengujian ini didapatkan hasil bahwa sinyal sinus sintetis lebih baik digunakan sebagai sinyal referensi daripada sinyal saron. Hal ini dikarenakan sepanjang masa pada sinyal sintetis sinus mempunyai amplitude yang sama, atau biasa disebut stasioner.

4.4.4 Pengaruh Iterasi

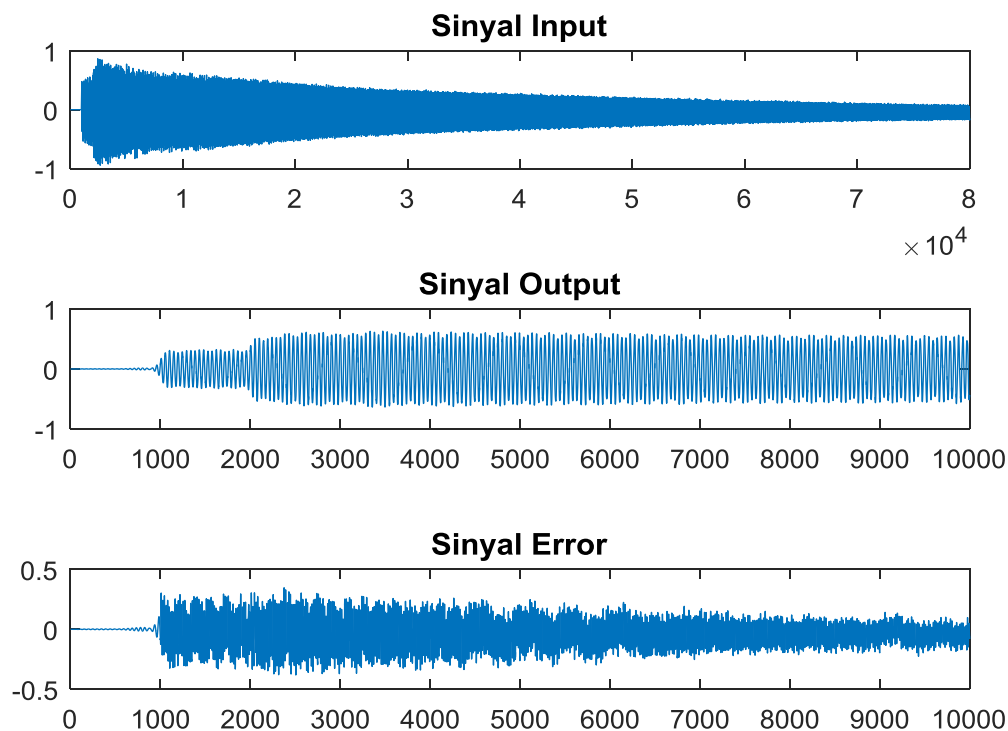


Gambar 4.14 Pengaruh Iterasi Terhadap Kinerja Sistem

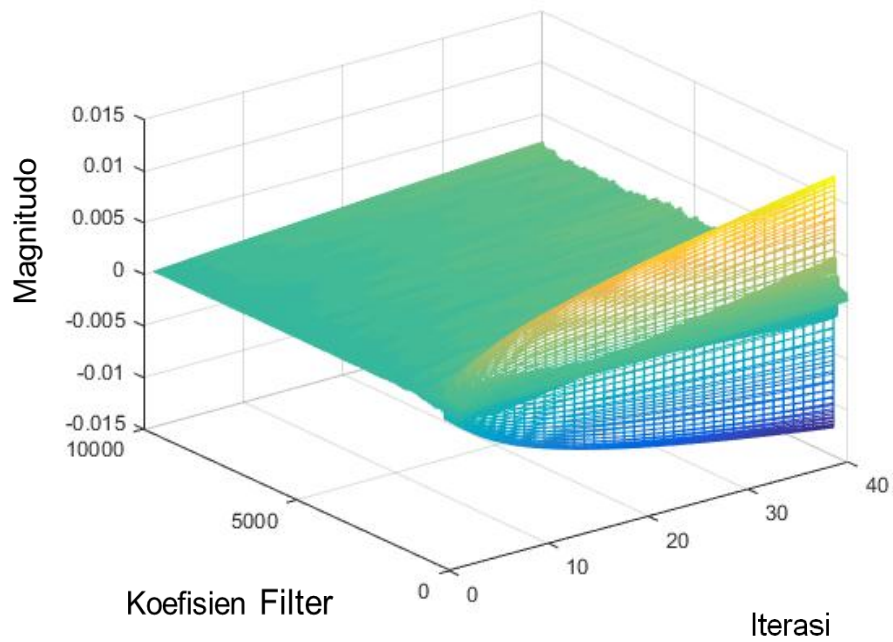
Pengujian dilakukan untuk menemukan parameter filter yang dapat bekerja optimal yang ditunjukkan Gambar 4.14. Sumbu horizontal merupakan iterasi dari k , sedangkan sumbu vertikal merupakan bobot. Hasil pengujian terlihat w_0 dan w_1 linear.

4.5 Pendeteksian Sinyal Kembar Menggunakan Adaptif Filter LMS

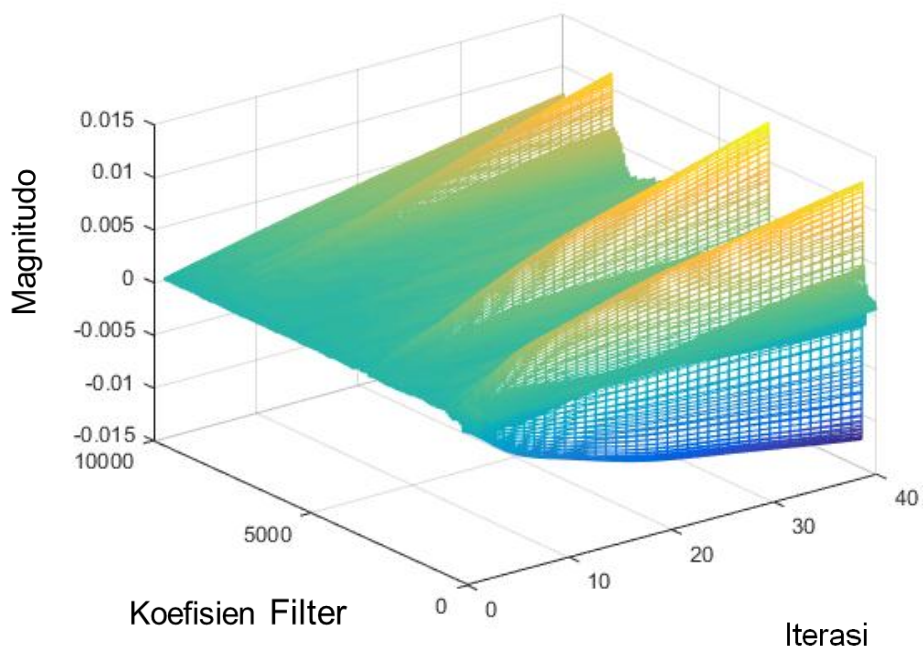
Pada penelitian ini proses ekstraksi notasi music berlangsung secara *off-line*. Data sampel instrument Gamelan yaitu saron yang berformat .wav. Instrumen music ansambel Gamelan dikelompokkan menggunakan *least mean square* (LMS) adaptif. Dimana setiap sinyal notasi music dipisahkan dari ansambel dan menghasilkan sinyal keluaran. Gambar 4.15 menunjukkan hasil proses ekstraksi notasi music nada tunggal saron 3 (763 Hz) dari sinyal input, sinyal output dan sinyal error.



Gambar 4.15 Representasi Hasil LMS



Gambar 4.16 Representasi Hasil LMS



Gambar 4.17 Deteksi Multiple Signal

Pada pengujian LMS kali ini digunakan sinyal referensi menggunakan sinyal sintetik sinus. Hal ini dikarenakan sepanjang masa pada sinyal sintetik sinus mempunyai amplitud yang sama, atau biasa disebut stasioner. Ekstraksi

notasi music akan menghasilkan fitur Gamelan dengan menggunakan deteksi amplitudo sehingga dapat mengetahui notasi musik yang dimainkan.

Saat memainkan Gamelan, ada beberapa musik identik yang dimainkan dengan jeda waktu yang sangat pendek atau dalam waktu bersamaan. Instrumen Gamelan dimainkan secara manual, oleh karena itu pemain tidak dapat memainkan musik dengan sangat dalam waktu bersamaan. Pada Tabel 4.1 menunjukkan hasil pengujian ekstraksi notasi music menggunakan *least mean square* (LMS) adaptif.

Pada penelitian ini ekstraksi instrumen identik yang dimainkan secara bersamaan dilakukan menggunakan *least mean square* (LMS) adaptif dengan panjang filter yang digunakan adalah 10000, step size (μ) bernilai 0.0003, dan iterasi 40 kali. Pengujian pertama yaitu ekstraksi nada tunggal dimana sinyal masukan adalah saron (763 Hz) dengan sinyal referensi sinyal sinus sintetik sehingga menghasilkan sinyal keluaran yang ditunjukkan pada Gambar 4.16.

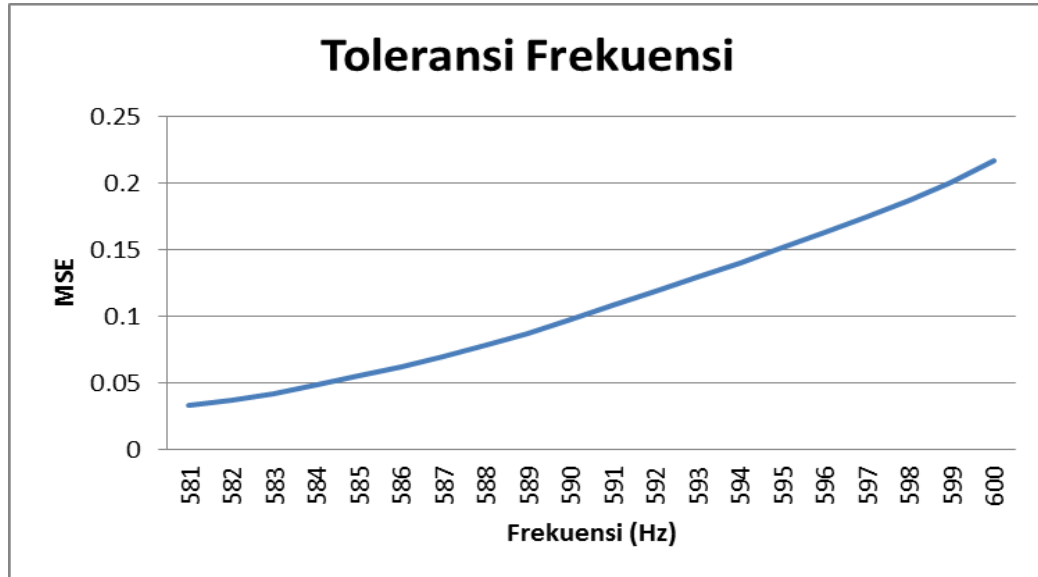
Pada Tabel 4.2 di pengujian kedua, dilakukan pengujian nada tunggal dengan time delay yang dipisahkan oleh 1700 sampling. Dengan *sampling rate* 48000, jadi 1700 sampling sama dengan $1700/48000 = 12$ ms. Filter koefisien dapat mendeteksi berapa banyak instrumen musik identik yang sedang dimainkan secara bersamaan dengan notasi music yang sama. Maka, pengujian selanjutnya adalah untuk menguji seberapa teliti metode *Least Mean Square* (LMS) bisa mendeteksi jumlah musik identik yang dimainkan secara bersamaan yang ditunjukkan Gambar 4.17.

4.6 Toleransi Frekuensi

Pengujian toleransi frekuensi dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pergeseran frekuensi sinyal sintetik sebagai sinyal referensi untuk bisa terdeteksi menggunakan Least Mean Square. Terdeteksi dan tidaknya diukur dari peak dan nilai MSE yang dihasilkan.

Pengujian pertama dilakukan menggunakan satu sinyal saron sebagai *blind signal*. Hasil pengujian toleransi ferekuensi pada Gambar 4.18 terlihat bahwa ketika frekuensi rendah nilai MSE di bawah 0.05. Sedangkan pada saat

frekuensi 600 Hz ke atas, nilai dari MSE naik mencapai lebih 0.25. Jadi toleransi frekuensi pada sinyal sintetik mempengaruhi nilai MSE.



Gambar 4.18 Grafik Toleransi Frekuensi

4.7 Toleransi Jarak

Pengujian toleransi jarak dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kerapatan sinyal untuk bisa terdeteksi menggunakan *Least Mean Square* (LMS). Terdeteksi dan tidaknya diukur dari peak dan nilai MSE yang dihasilkan Gambar 4.19.

Hasil pengujian toleransi jarak terlihat ketika time delay kecil nilai MSE tinggi. Sedangkan ketika nilai time delay besar, maka nilai MSE rendah. Oleh karena itu, variabel time delay dengan MSE mempengaruhi pada toleransi jarak.

Percobaan pertama menggunakan dua sinyal identik sebagai *blind signal*. Dari pengujian toleransi frekuensi dan toleransi jarak, maka selanjutnya dilakukan pengujian deteksi instrumen identik seperti pada Tabel 4.4. Sinyal masukan yang digunakan sebagai pengujian terdiri dari Saron 1, Saron 2, Saron 3, Saron 5 dan Saron 6. Jumlah pengujian instrumen identik sebanyak 30 dari variasi jumlah sinyal Saron. Frekuensi sinyal referensi yang digunakan dalam percobaan menggunakan sinyal sintetik.

Dari Tabel 4.4 membuktikan bahwa instrumen identik dapat terdeteksi dengan jarak atau delay 0.03 ms. Selain itu, instrumen identik juga dapat terdeteksi dengan toleransi frekuensi dari sinyal referensi sebesar 10 Hz.

Tabel 4.4 Pengujian Instrumen Identik

No	Pengujian Instrumen Identik			
	Sinyal Masukan	Frekuensi Sinyal Referensi (Hz)	Delay (ms)	Hasil Deteksi
1	Saron1+Saron1	581	0.02	Tidak Terdeteksi
2	Saron1+Saron1	581	0.03	Terdeteksi
3	Saron1+Saron1	581	0.04	Terdeteksi
4	Saron1+Saron1	590	0.03	Terdeteksi
5	Saron1+Saron1	591	0.03	Tidak Terdeteksi
6	Saron1+Saron1	592	0.03	Tidak Terdeteksi
7	Saron2+Saron2	668	0.02	Tidak Terdeteksi
8	Saron2+Saron2	668	0.03	Terdeteksi
9	Saron2+Saron2	668	0.04	Terdeteksi
10	Saron2+Saron2	677	0.03	Terdeteksi
11	Saron2+Saron2	678	0.03	Tidak Terdeteksi
12	Saron2+Saron2	679	0.03	Tidak Terdeteksi
13	Saron3+Saron3	763	0.02	Tidak Terdeteksi
14	Saron3+Saron3	763	0.03	Terdeteksi
15	Saron3+Saron3	763	0.04	Terdeteksi
16	Saron3+Saron3	772	0.03	Terdeteksi
17	Saron3+Saron3	773	0.03	Tidak Terdeteksi
18	Saron3+Saron3	774	0.03	Tidak Terdeteksi
19	Saron5+Saron5	873	0.02	Tidak Terdeteksi
20	Saron5+Saron5	873	0.03	Terdeteksi
21	Saron5+Saron5	873	0.04	Terdeteksi
22	Saron5+Saron5	882	0.03	Terdeteksi
23	Saron5+Saron5	883	0.03	Tidak Terdeteksi
24	Saron5+Saron5	883	0.03	Tidak Terdeteksi
25	Saron6+Saron6	1013	0.02	Tidak Terdeteksi
26	Saron6+Saron6	1013	0.03	Terdeteksi
27	Saron6+Saron6	1013	0.04	Terdeteksi
28	Saron6+Saron6	1022	0.03	Terdeteksi
29	Saron6+Saron6	1023	0.03	Tidak Terdeteksi
30	Saron6+Saron6	1023	0.03	Tidak Terdeteksi

Tabel 4.5 Pengujian Beberapa Instrumen Identik

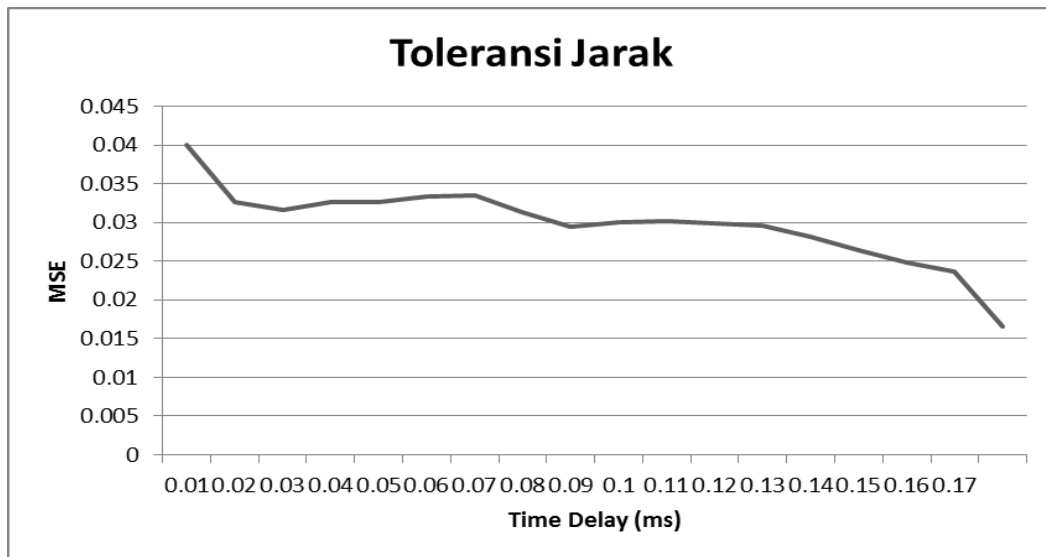
No	Pengujian Instrumen Identik			
	Sinyal Masukan	Frekuensi Sinyal Referensi (Hz)	Delay (ms)	Hasil Deteksi
1	Saron1+Saron1+Saron1	581	0.03	Terdeteksi
2	Saron2+Saron2+Saron2	668	0.03	Terdeteksi
3	Saron3+Saron3+Saron3	763	0.03	Terdeteksi
4	Saron5+Saron5+Saron5	873	0.03	Terdeteksi
5	Saron6+Saron6+Saron6	1013	0.03	Terdeteksi
6	Saron1+Saron1+Saron1+Saron1	581	0.03	Terdeteksi
7	Saron2+Saron2+Saron2+Saron2	668	0.03	Terdeteksi
8	Saron3+Saron3+Saron3+Saron3	763	0.03	Terdeteksi
9	Saron5+Saron5+Saron5+Saron5	873	0.03	Terdeteksi
10	Saron6+Saron6+Saron6+Saron6	1013	0.03	Terdeteksi
11	Saron1+Saron1+Saron1+Saron1+Saron1	581	0.03	Terdeteksi
12	Saron5+Saron5+Saron5+Saron5+Saron5+Saron5	873	0.03	Terdeteksi

Pengujian selanjutnya yaitu deteksi instrumen identik dengan masukan beberapa sinyal identik. Dari Tabel 4.5 dapat dilihat bahwa berapapun jumlah instrumen identik yang diinputkan, akan terdeteksi asalkan dengan delay minimum 0.03 ms dan frekuensi sinyal referensi tidak lebih dari 10 Hz.

Tabel 4.6 Pengujian Instrumen Identik dengan Sinyal Masukan Berbeda Frekuensi

No	Pengujian Instrumen Identik			
	Sinyal Masukan	Frekuensi Sinyal Referensi (Hz)	Delay (ms)	Hasil Deteksi
1	Saron1+ss11d	581	0.03	Terdeteksi
2	Saron1+ss11d+ss11t	668	0.03	Terdeteksi
3	Saron2+ss21e	668	0.03	Terdeteksi
4	Saron2+ss21e+ss22e	668	0.03	Terdeteksi
5	Saron3+ss31e	763	0.03	Terdeteksi
6	Saron3+ss31e+ss32e	763	0.03	Terdeteksi
7	Saron5+ss51e	873	0.03	Terdeteksi
8	Saron5+ss51e+ss52e	873	0.03	Terdeteksi
9	Saron6+ss61e	1013	0.03	Terdeteksi
10	Saron6+ss61e+ss62e	1013	0.03	Terdeteksi

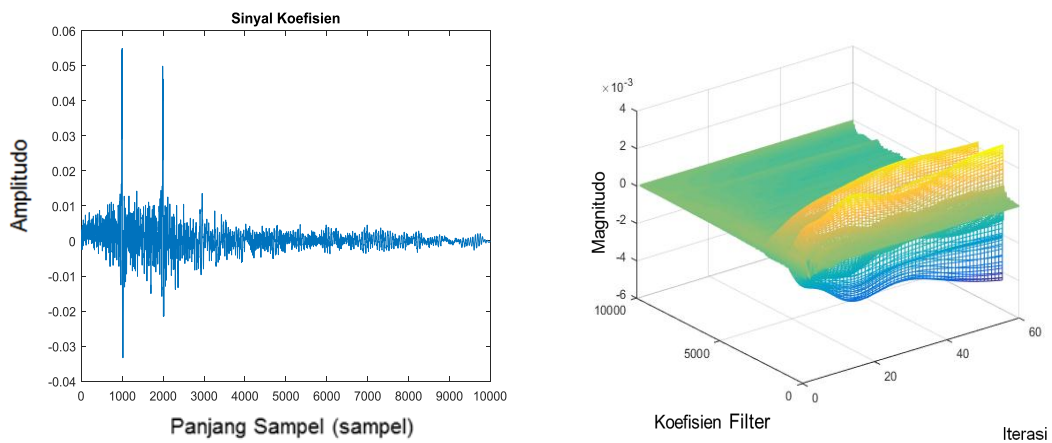
Pengujian selanjutnya yaitu deteksi instrument identic sinyal masukan yang berbeda frekuensi. Frekuensi masukan itu berbeda hanya pada rentang tidak lebih dari 10 Hz. Dari Tabel 4.6 dapat dilihat bahwa berapapun jumlah instrument identic yang diinputkan, akan terdeteksi asalkan dengan delay minimum 0.03 ms dan frekuensi sinyal referensi tidak lebih dari 10 Hz.



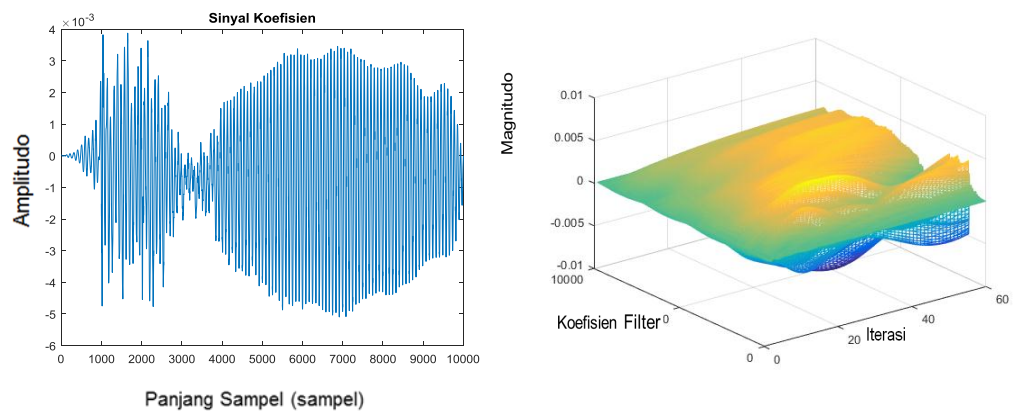
Gambar 4.19 Grafik Toleransi Jarak

Gambar 4.19 merupakan grafik toleransi jarak yang dihasilkan. Salah satu hasil deteksi tersebut bisa dilihat pada Gambar 4.20 dan Gambar 4.21.

Gambar 4.20 Hasil deteksi dari dua instrumen identik yang terdeteksi. Sinyal yang dapat terdeteksi terlihat pada sinyal koefisien mempunyai ciri frekuensi runcing dan kembar, walaupun titik puncak magnitude berbeda. Serta gambar grafik 3D memiliki dua titik puncak yang beraturan. Sedangkan instrumen identik yang tidak terdeteksi terlihat frekuensi melebar pada hasil grafik sinyal koefisien yang dituntukan Gambar 4.21. Untuk Gambar 3D dari instrumen identik yang tidak terdeteksi terlihat tidak memiliki titi puncak dan tidak beraturan.



Gambar 4.20 Hasil Deteksi Dua Instrumen Identik



Gambar 4.21 Instrumen Identik yang Tidak Terdeteksi Menggunakan Saron 1 dengan Time Delay 0.02 ms dan Frekuensi Sinyal Referensi 592 Hz

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian program simulasi, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan, yaitu

- 1) Nilai μ pada filter adaptif mempengaruhi nilai MSE. Nilai μ yang mempunyai MSE terkecil adalah 0.0003.
- 2) Iterasi dan sinyal referensi juga mempengaruhi kinerja system.
- 3) Pada penelitian ini menunjukkan segmentasi simulator yang dimainkan bersamaan dengan 0.03 ms.
- 4) Toleransi frekuensi yang didapatkan adalah 10 Hz.

5.2 Penelitian Selanjutnya

Penelitian selanjutnya diharapkan dapat dilakukan proses penandaan musik yang diinputkan bisa dimanfaatkan menjadi musik dinamik. Selain itu beberapa pengembangan lainnya juga bisa diteliti terhadap penggunaan LMS contohnya digunakan untuk onset detection.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- A. Sethares, W. (2005) *Tuning, Timbre, Spectrum, Scale*. Springer-Verlag London.
- Ayers, L. and Bay, C. W. (no date) 'The Hong Kong University of Science & Technology Department of Computer Science'.
- Bilcu, R. C. (2004) *On Adaptive Least Mean Square FIR Filters: New Implementation and Applications*. Tampere University of Technology.
- Domain, I. N. T. and Domain, F. (2013) 'Independence Test of Gamelan Instruments Signal', 7(1).
- Harrison, L. (2016) 'Concerto for Piano with Javanese Gamelan by Lou Harrison (review)'. *Leonardo Music J.* 2, 109–109.
- Honade, S. J. et al. (2017) 'Performance Analysis of Various LMS Adaptive Filtering Algorithms', pp. 504–508.
- Ishida, N. (2008) 'The textures of Central Javanese Gamelan music: Pre-notation and its discontents', *Bijdragen tot de Taal-, Land- en Volkenkunde*, 164(4), pp. 475–499. doi: 10.1163/22134379-90003652.
- J, B. and K. U, S. (2001) 'Super directive microphone arrays. In: *Microphone arrays signal processing techniques and applications*', Springer, Berlin, 19-38.
- Johnson, H. (2008) 'Composing Asia in New Zealand: Gamelan and Creativity'. *N. Z. J. Asian Stud.* 10, 54–84.
- Kitahara, T. et al. (2007) 'Instrument Identification in Polyphonic Music : Feature Weighting to Minimize Influence of Sound Overlaps', 2007. doi: 10.1155/2007/51979.
- Kuswanto, H., Sumarna, Purwanto, A., Handoyo, C.B. (2012) 'Saron Demung Instruments Timbre Spectrum Comparison Study on The Gamelans Sekati' from. *Int. J. Basic Appl. Sci. IJBS-IJENS* 12, 17–25.
- Lindsay, J. (1992) 'Javanese Gamelan: Traditional orchestra of Indonesia'. JSTOR.
- Liu, Y. et al. (2013) 'A Noise Reduction Method Based on LMS Adaptive Filter of Audio Signals', pp. 1001–1008.
- Luroche, J. (1999) 'New phase-vocoder techniques for pitch-shifting, harmonizing and other exotic effects', pp. 91–94.
- McLoughlin, I. (2009) *Applied speech and audio processing: With matlab ® examples, Applied Speech and Audio Processing: With Matlab Examples*. doi: 10.1017/CBO9780511609640.

- Perlman, M., Krumhansl, C.L. (1996) 'An Experimental Study of Internal Interval Standards in Javanese and Western Musicians' *Music Percept. Interdiscip. J.* 14, 95–116. doi:10.2307/40285714
- Riski, A., Irawan, M. I. and Apriliani, E. (2014) 'Identifikasi Instrumen Gamelan Jawa Menggunakan Fungsi Basis Radial dengan Metode Pelatihan Extended Kalman Filter', *Prosiding Seminar Nasional Matematika*, (November), pp. 283–298.
- Sarah Weiss (2009). *Gamelan of Central Java II: Ceremonial Music*, and: *Gamelan of Central Java IV: Spiritual Music* (review) *Asian Music - Volume 40*, Number 1, Winter/Spring 2009, pp. 157-161
- Sadaoki Furui. (1989), *Digital Speech Processing Synthesis and Recognition*. Addison-Wesley Publishing Company.
- Shannon, C. E. Dan Weaver, W. (1949), *The Mathematical Theory of Communication*, University of Illinois Press.
- Sir, N., Chithra, K. and Sudhakar, T. (2013) 'Adaptive Filtering based on Least Mean Square Algorithm'.
- Sumarsam (1995) *Cultural Interaction and Musical Development in Central Java*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Suprpto, Y. K., Member, S. and Purnomo, M. H. (no date) 'Saron Sound Separation from Gamelan Ensemble using Cross Correlation for Music Notation', (xx), pp. 1–8.
- Suprpto, Y. K., Purnomo, M. H. and Hariadi, M. (2009) 'Segmentation of Identical and Simultaneously Played Traditional Music Instruments using Adaptive', 20(3), pp. 88–92.
- Suprpto, Y.K., Usagawa, T., Hariadi, M. (2009) Time frequency modelling of Gamelan instrument based on spectral density for automatic notation, in: *The Third International Student Conference on Advanced Science and Technology*, Seoul, Korea. pp. 15–19.
- Suprpto, Y. K. and Pradhana, V. E. (2015) 'High Performance Analyzer Using Adaptive Waveform Pattern Matching', *Journal of Theoretical and Applied Information*.
- Susilo, H. (2005) *Enculturation and Cross-Cultural experiences in Teaching Indonesian Gamelan*. Asian Studies Institute.
- Sutton, R.A. (2007) *Gamelan: The Traditional Sounds of Indonesia* (review). *Asian Music* 38, 142–144. doi:10.1353/amu.2007.0027

Symposium, I. et al. (2000) 'IS&T/SPIE 12th International Symposium on Electronic Imaging,(San Jose, CA, USA), Jan. 2000, Proceedings of SPIE Vol. 3971, pp.382-392', 3971, pp. 382–392.

Technology, A. I. (2015) 'HIGH PERFORMANCE GAMELAN ANALYZER USING', 71(1).

Tjahyanto, A., Suprpto, Y.K., Purnomo, M.H., Wulandari, D.P. (2012) FFT based features selection for Javanese music note and instrument identification using support vector machines, in: 2012 IEEE International Conference on Computer Science and Automation Engineering (CSAE)., pp. 439–443. doi:10.1109/CSAE.2012.6272633

Vincent, E. (2006) Musical source separation using time-frequency source priors. IEEE Trans. Audio Speech Lang. Process. 14, 91–98. doi:10.1109/TSA.2005.860342

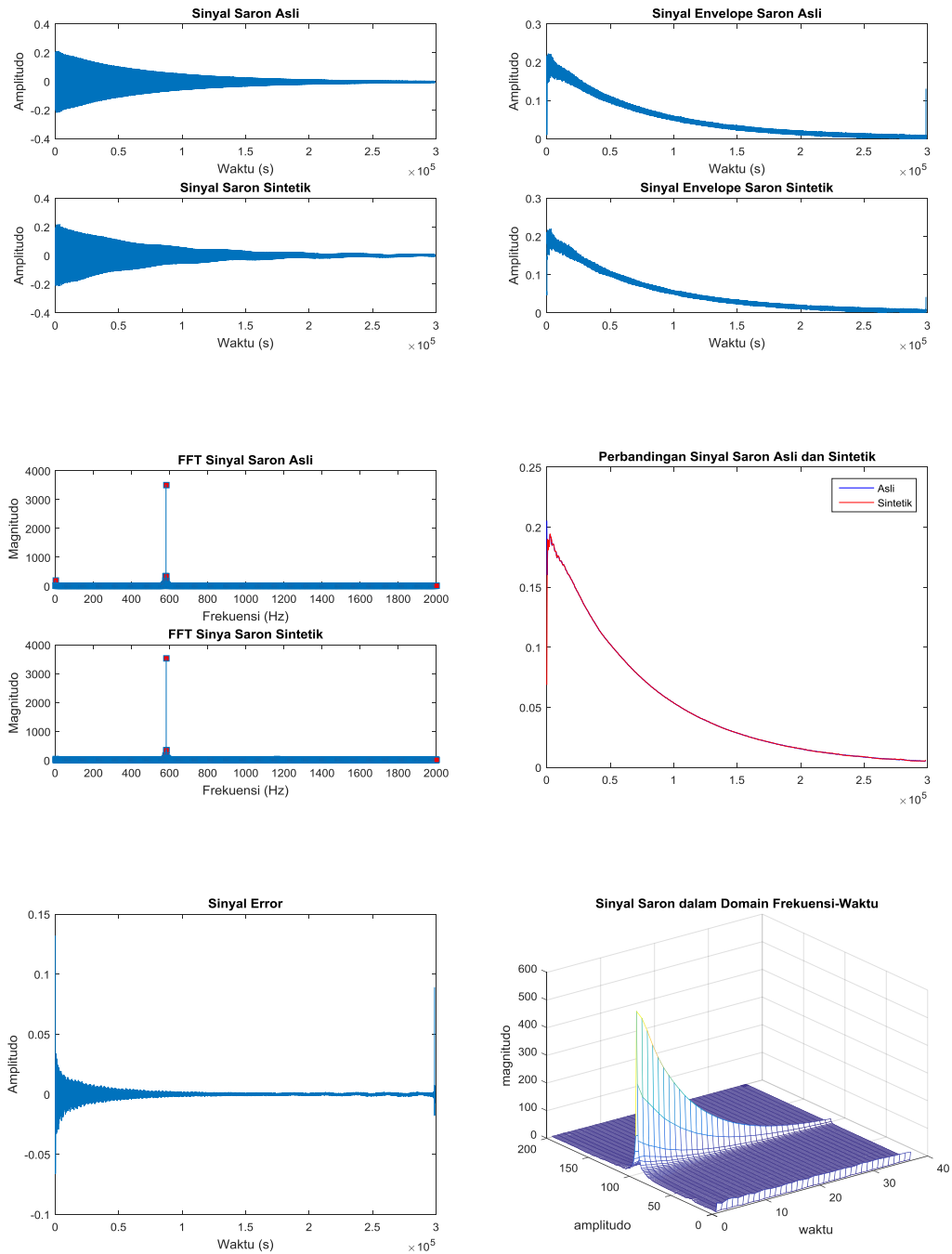
von Vaseghi, S. (2007) Multimedia signal processing: theory and applications in speech, music and ...?. Available at: <http://books.google.com/books?id=8OEKFWZY5UYC&printsec=frontcover>.

Walczak-Typke, A. (2010) Advances in Music Information Retrieval. doi:10.1007/978-3-642-11674-2.

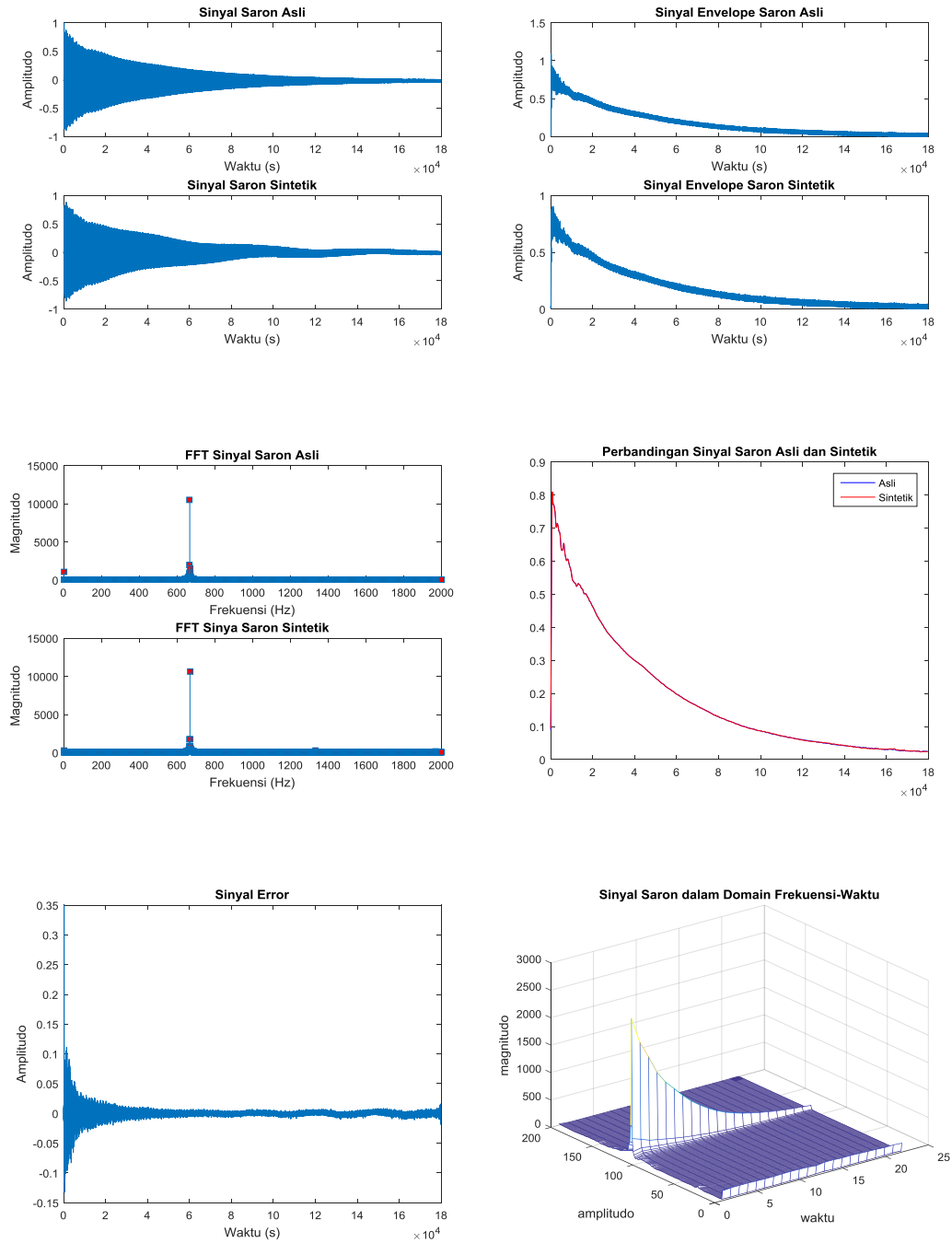
Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN

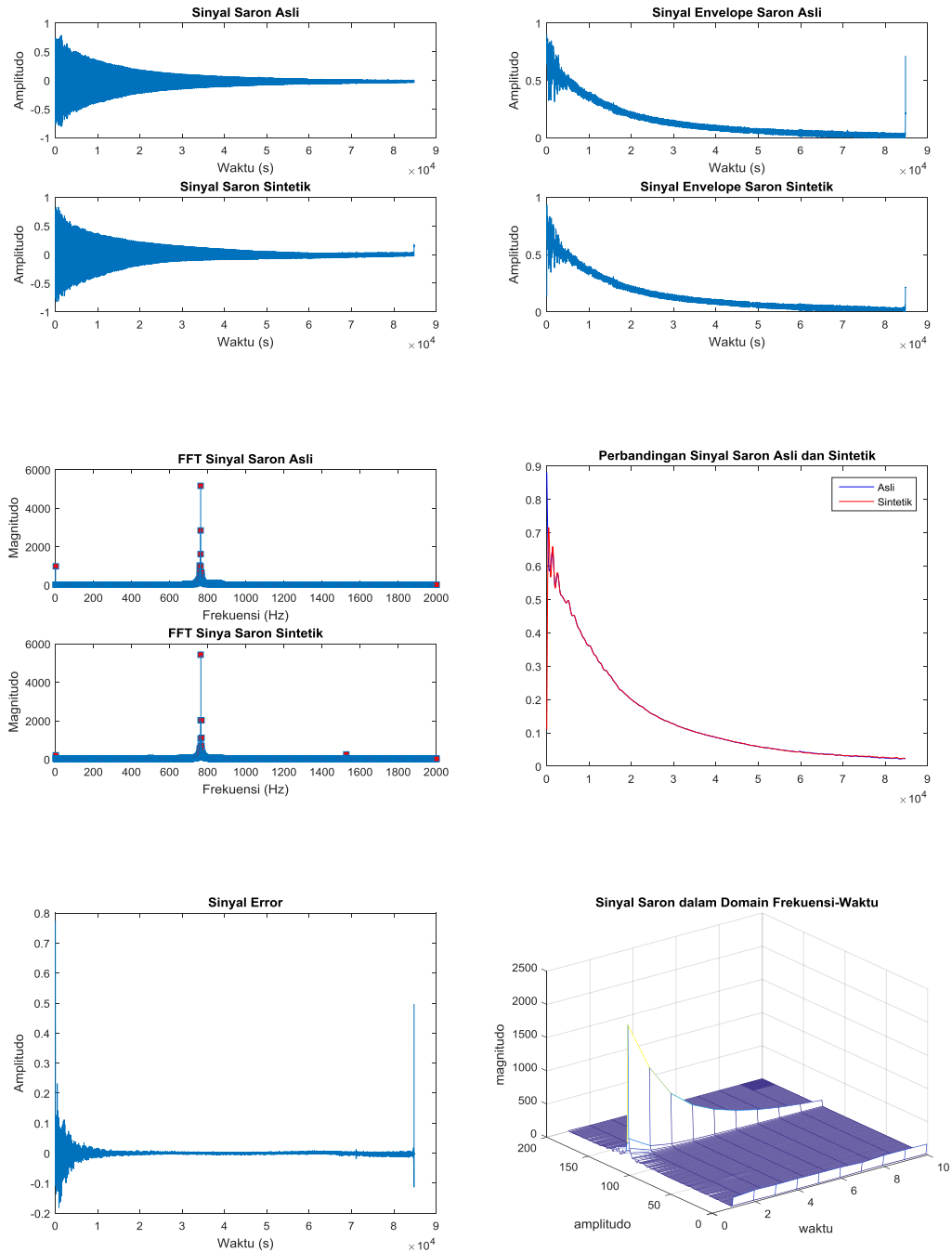
1. Pembangkitan sinyal sintetik ‘Saron 1’ dan informasi elemen didalamnya



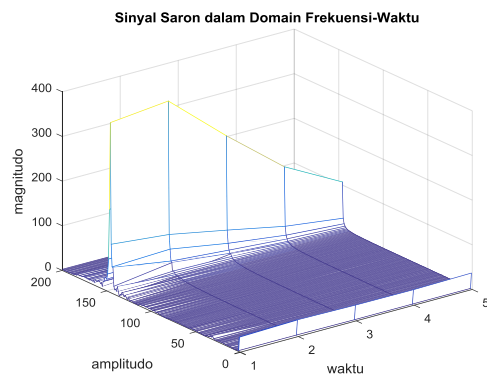
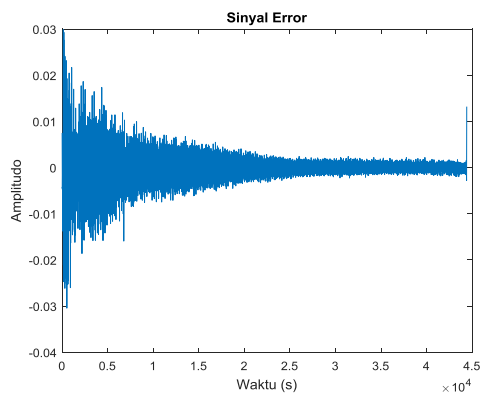
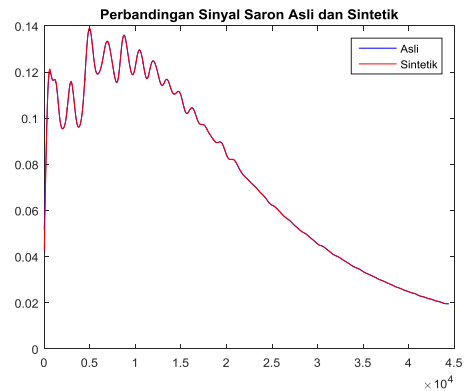
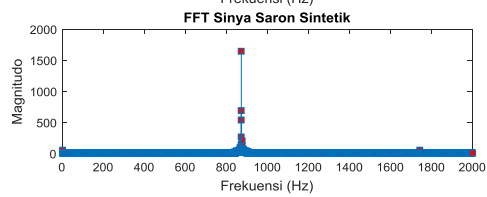
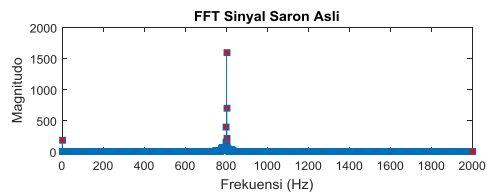
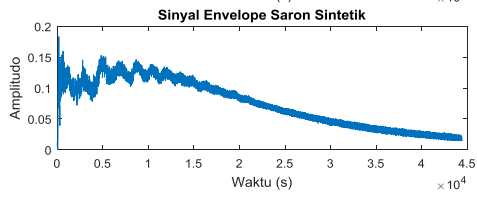
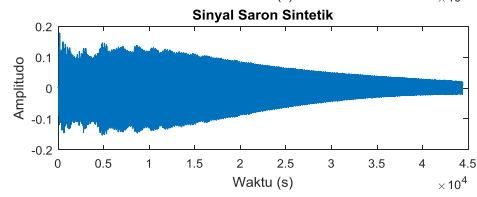
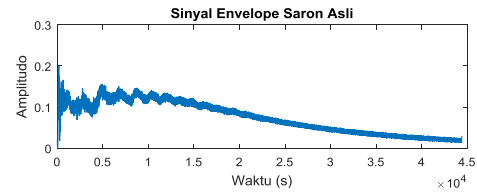
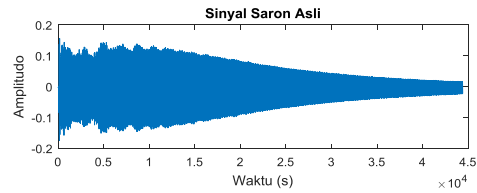
2. Pembangkitan sinyal sintetik ‘Saron 2’ dan informasi elemen didalamnya



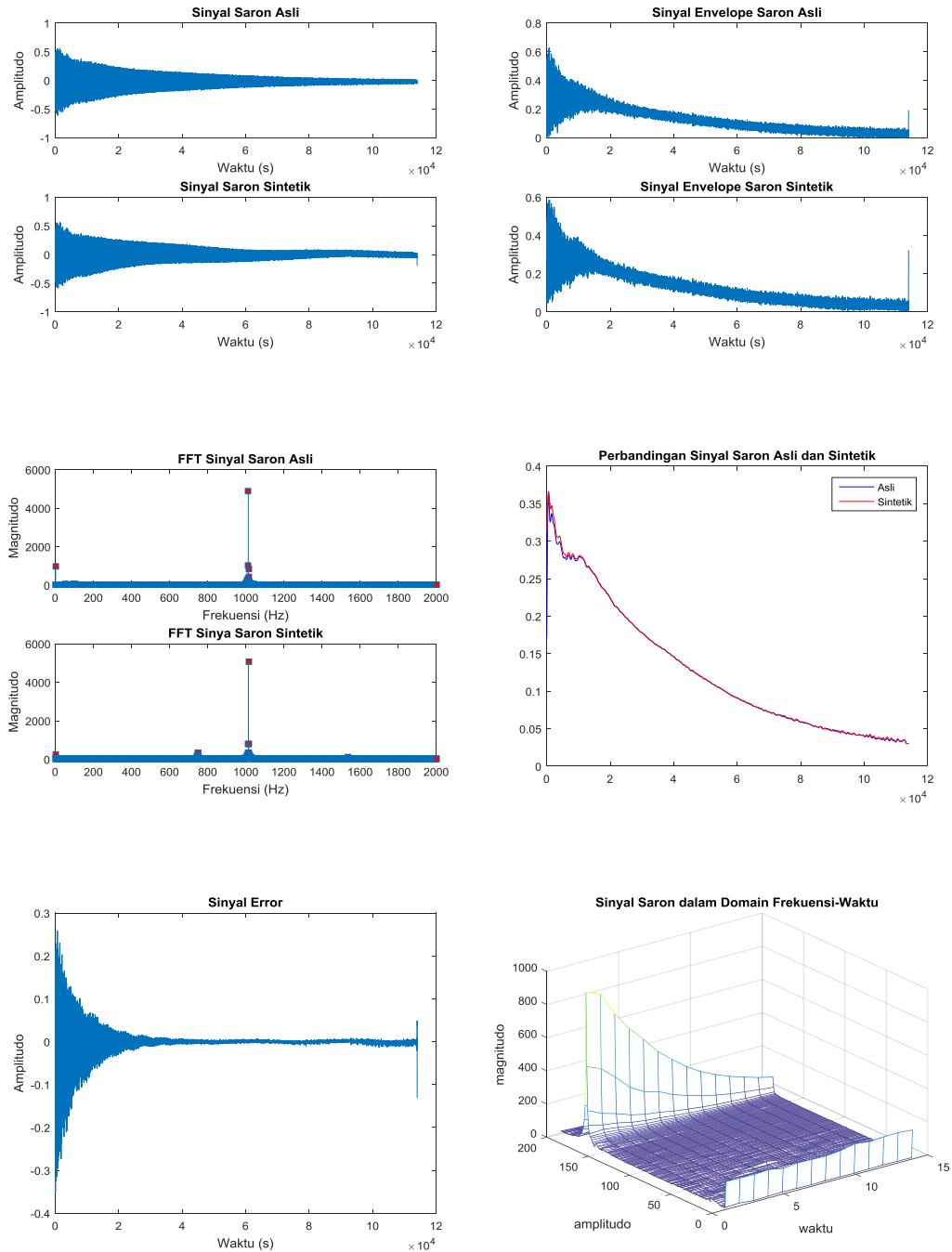
3. Pembangkitan sinyal sintetis ‘Saron 3’ dan informasi elemen didalamnya



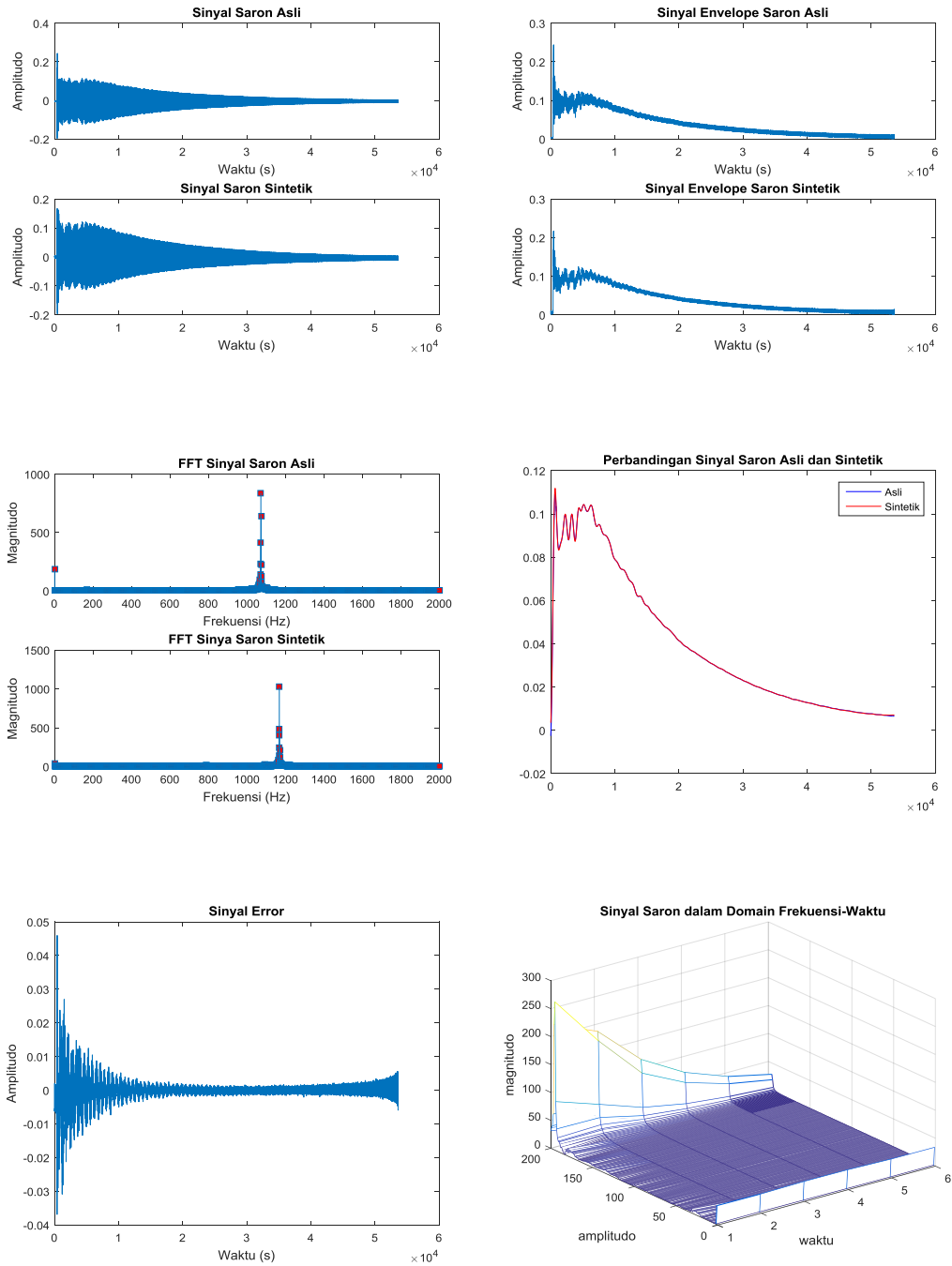
4. Pembangkitan sinyal sintetik ‘Saron 5’ dan informasi elemen didalamnya



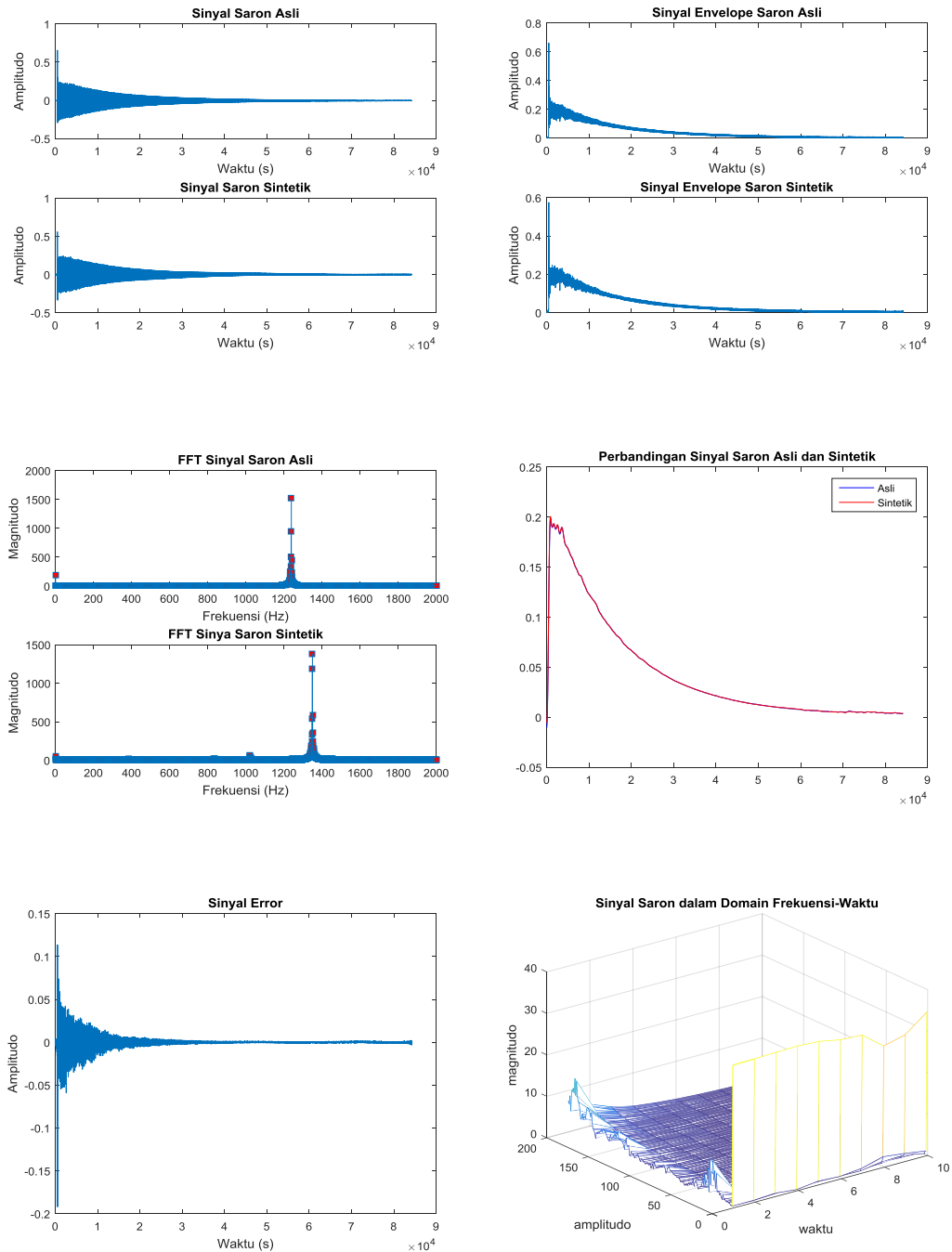
5. Pembangkitan sinyal sintetis ‘Saron 6’ dan informasi elemen didalamnya



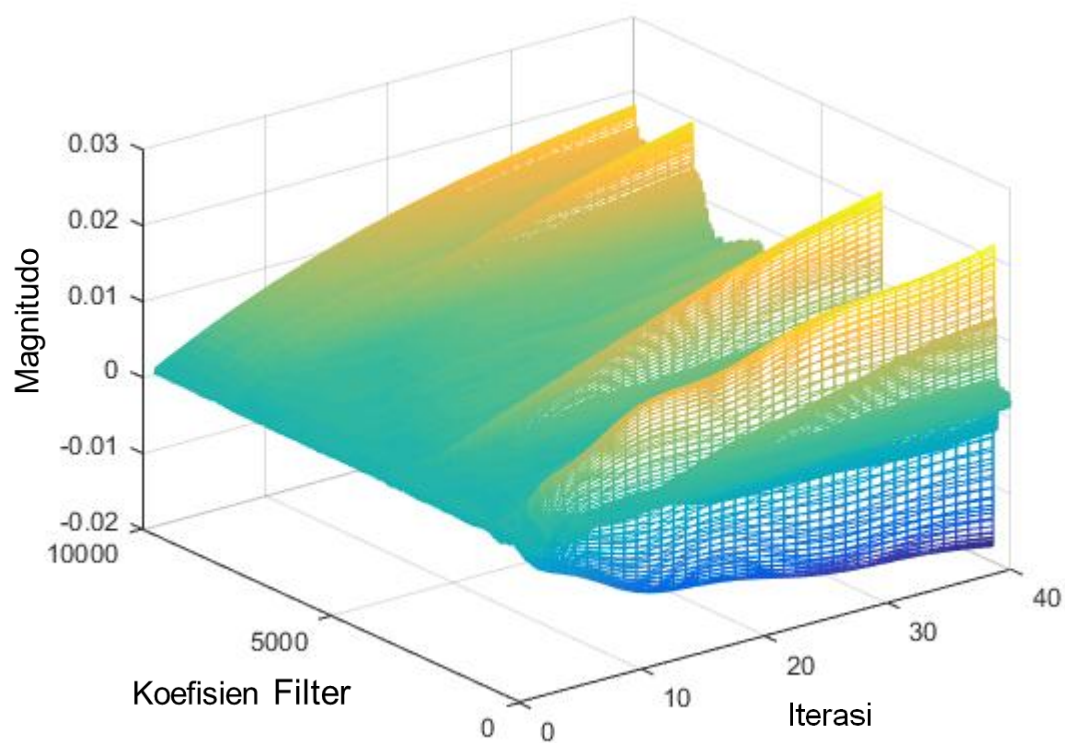
6. Pembangkitan sinyal sintetik ‘Saron 1’ dan informasi elemen didalamnya



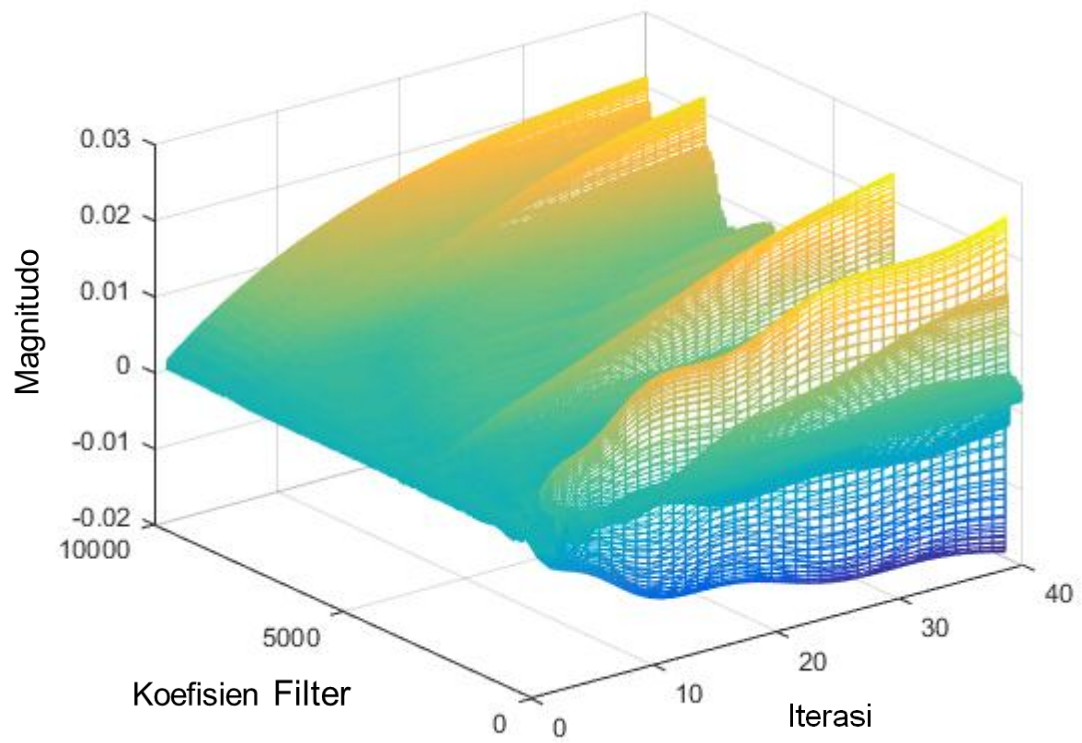
7. Pembangkitan sinyal sintetik ‘Saron 2’ dan informasi elemen didalamnya



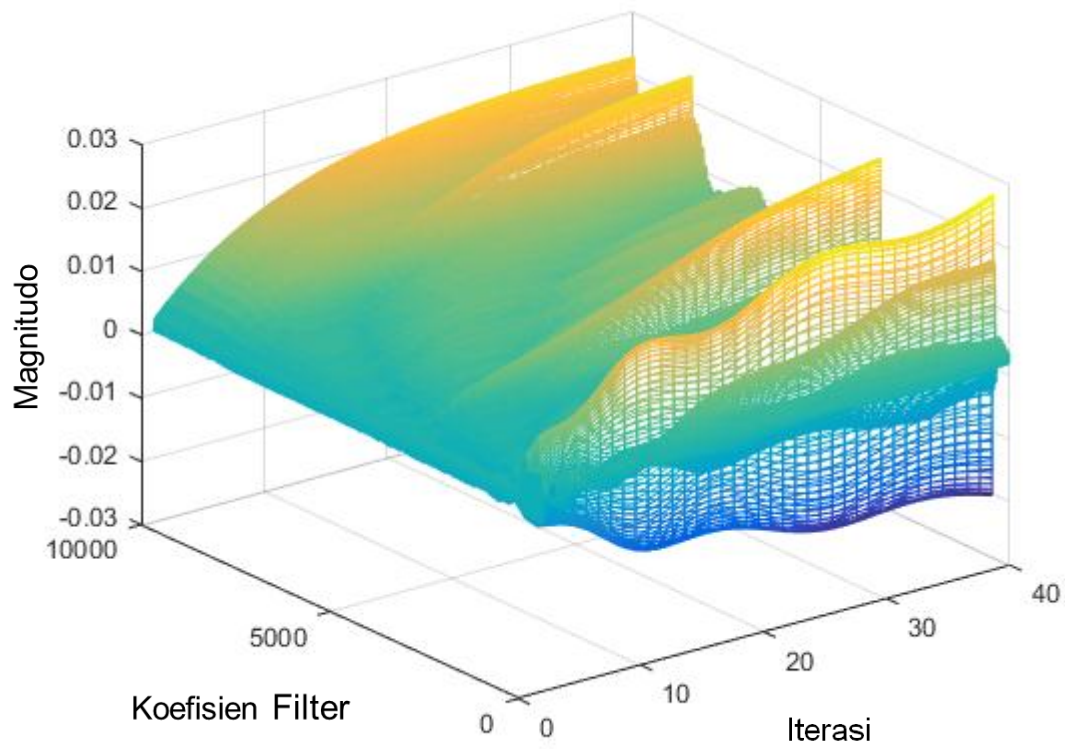
8. Ekstraksi Notasi Musik dengan Stepsize 0.00015



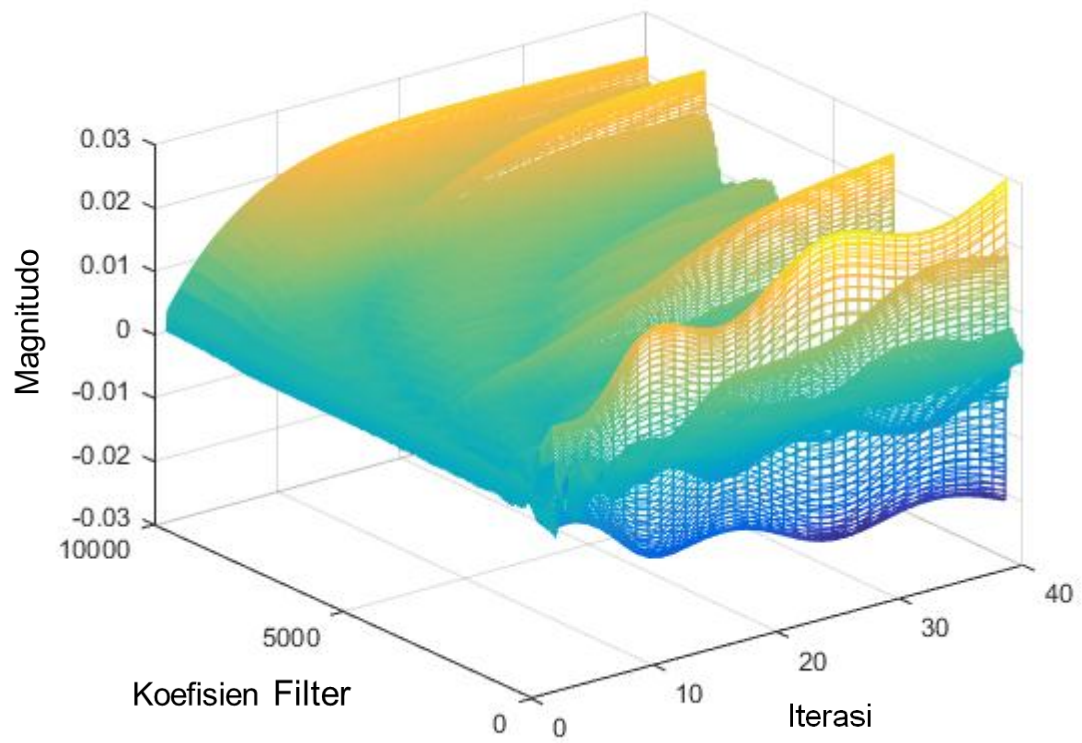
9. Ekstraksi Notasi Musik dengan Stepsize 0.0002



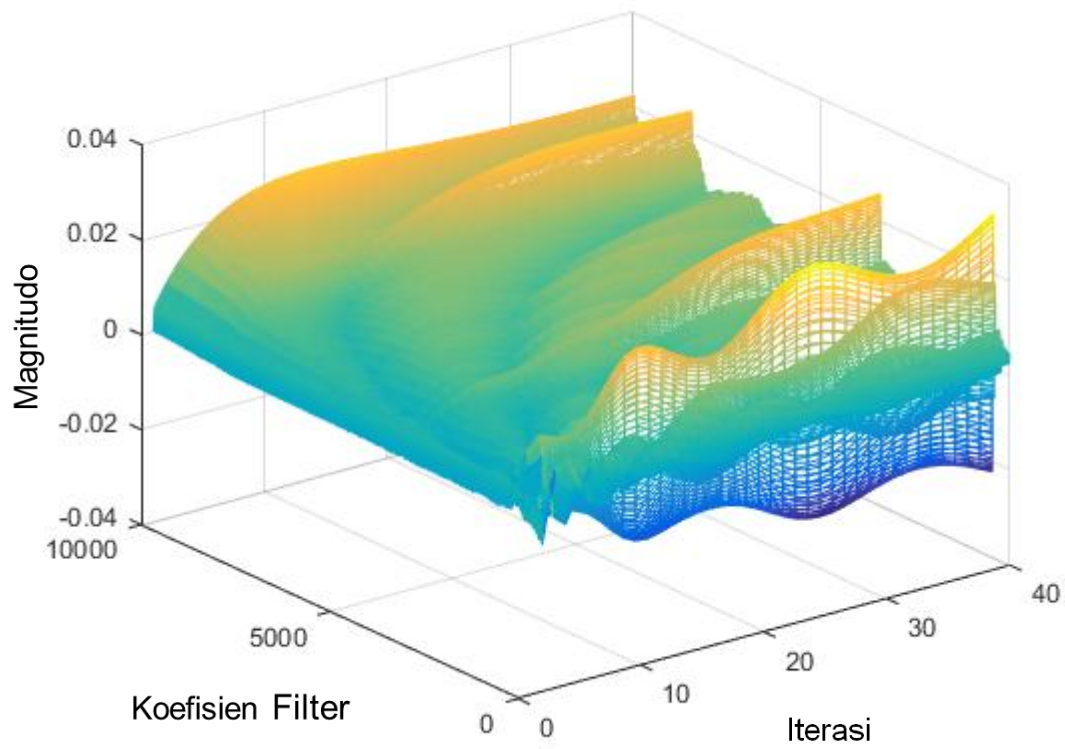
10. Ekstraksi Notasi Musik dengan Stepsize 0.00025



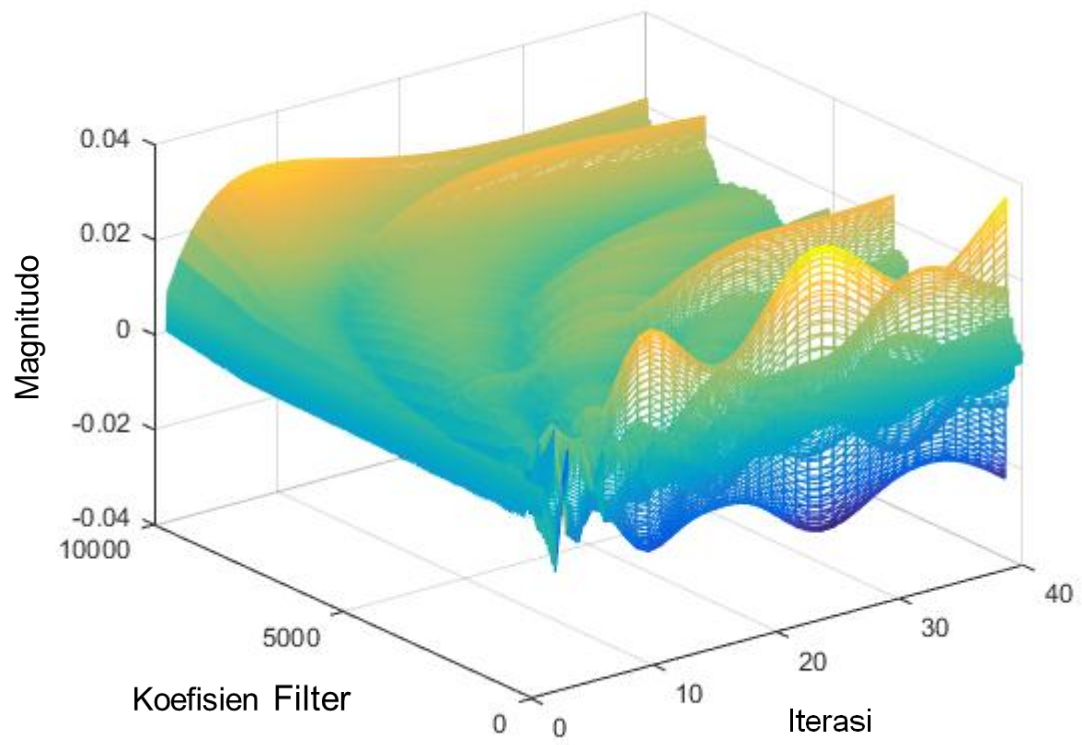
11. Ekstraksi Notasi Musik dengan Stepsize 0.0003



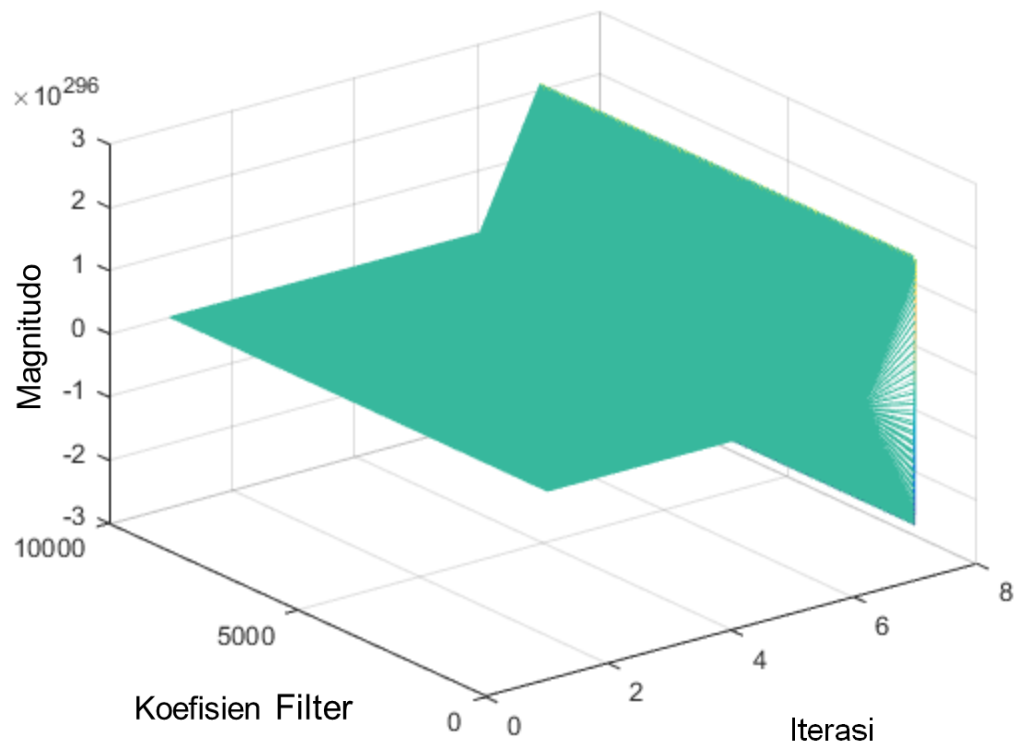
12. Ekstraksi Notasi Musik dengan Stepsize 0.00035



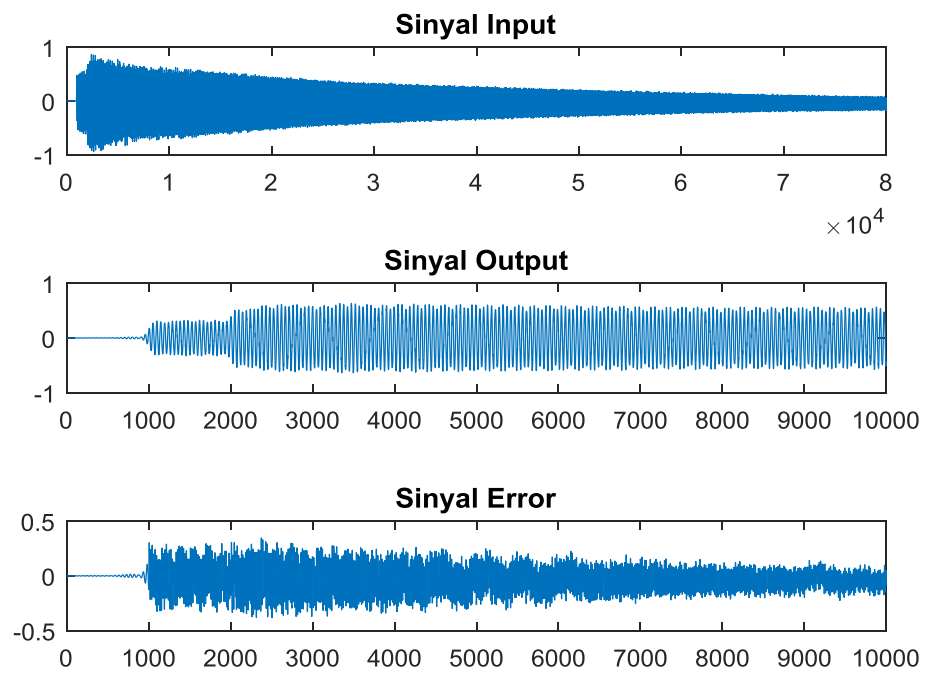
13. Ekstraksi Notasi Musik dengan Stepsize 0.0004



14. Ekstraksi Notasi Musik dengan Stepsize 0.00045



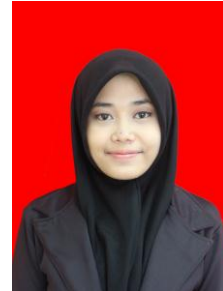
15. Hasil Filter LMS



Halaman ini sengaja dikosongkan

BIOGRAFI PENULIS

Nama : Mambaus Saadah
Tempat/Tanggal Lahir : Surabaya, 19 April 1994
Agama : Islam
Alamat : Keputih Perintis V/3 Sukolilo
Surabaya
Nomor HP : 081334495944
E-mail : mambaus.ms@gmail.com



Riwayat Pendidikan

1. SDI YAPITA (1999-2005)
2. SMP Negeri 30 Surabaya (2005-2008)
3. SMA Negeri 20 Surabaya (2008-2011)
4. Politeknik Elektronika Negeri Surabaya (2011-2015)
Prodi D4 Teknik Telekomunikasi
5. Institut Teknologi Sepuluh Nopember (2016-2019)
S2 Teknik Elektro

Daftar Publikasi Selama Studi Magister

Seminar Internasional

- S. Saadah, D. P. Wulandari and Y. K. Suprpto, “Noise Cancellation in Gamelan Signal by Using Least Mean Square Based Adaptive Filter,” pp. 1–5.
- S. Saadah, D. P. Wulandari and Y. K. Suprpto, “Identical Instruments Detection Using Least Mean Square,”.

Halaman ini sengaja dikosongkan